

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ  
КАФЕДРА ПРОМИЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

„На правах рукопису”  
УДК 621.314

До захисту допущено  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис)      Ю.С. Ямненко  
(ініціали, прізвище)  
„\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2018р.

## МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ

зі спеціальності 171 Електроніка  
(код та назва напрямку підготовки або спеціальності)

на тему Пристрій для дослідження впливу заряду асиметричним струмом на  
ємність акумуляторних батарей

Виконав: студент 6 курсу, групи ДС-61м

Снегірєв Владислав Олександрович \_\_\_\_\_  
(прізвище, імя, по батькові) (підпис)

Науковий керівник доц. каф. ПЕ, к.т.н. Волківський В.Б. \_\_\_\_\_  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант: \_\_\_\_\_  
(назва розділу) (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент доц. каф. ААЕ, к.т.н. Гармаш О.В. \_\_\_\_\_  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України**  
**“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”**

Факультет електроніки  
( повна назва )

Кафедра промислової електроніки  
( повна назва )

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 171 Електроніка  
(шифр і назва)

Спеціалізація Електронні системи  
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Ю.С. Ямненко

( прізвище ініціали )

(підпис)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ**

Снегірев Владислав Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Пристрій для дослідження впливу заряду асиметричним струмом на ємність акумуляторних батарей

Керівник проекту к.т.н., Волківський В.Б.,  
( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання )

затверджені наказом по університету від « 9 » січня 2018 року № 691-с

2. Строк подання студентом проекту 15 травня 2018

3. Вихідні дані до проекту Свинцево-кислотні та нікель-кадмієвий акумулятори які необхідно дослідити при заряді асиметрично імпульсним струмом в порівнянні з постійним струмом на основі зміни ємності при циклічному заряду та розряду.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1)Аналіз характеристик акумуляторних батарей та способів їх заряду; 2)Огляд методів заряду акумуляторних батарей; 3)Розробка зарядного пристрою; 4)Проведення розрахунку перехідних процесів для підбору максимально ефективних тривалостей зарядних/розрядних імпульсів, моделювання та аналіз електромагнітних процесів роботи обраної схеми зарядного пристрою; 5)Розробка програми на основі алгоритму для МКР для ефективного управління зарядним пристроєм акумуляторних батарей 6)Проведення експериментальних досліджень на різних типах акумуляторних

батарей 7)Аналіз даних, отриманих у ході експерименту, для дослідження можливості прогнозування тривалості життя акумуляторів 8)Визначення та обґрунтування кращого методу заряду.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

## 6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технічний			

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1.	Аналіз характеристик акумуляторних батарей та способів їх заряду	01.09.17-01.11.17	
2.	Огляд методів заряду акумуляторних батарей	01.11.17-01.02.18	
3.	Розробка зарядного пристрою	01.02.18-01.03.18	
4.	Проведення розрахунку перехідних процесів для підбору максимально ефективних тривалостей зарядних/розрядних імпульсів, моделювання та аналіз електромагнітних процесів роботи обраної схеми зарядного пристрою	01.03.18-01.04.18	
5.	Розробка програми на основі алгоритму для МКР для ефективного управління зарядним пристроєм акумуляторних батарей	01.04.18-24.04.18	
6.	Проведення експериментальних досліджень на різних типах акумуляторних батарей, аналіз даних	24.04.18-01.05.18	
7.	Моделювання зміни ємності акумуляторної батареї та розробка стартап проекту	01.05.18-13.05.18	
8.	Визначення та обґрунтування кращого методу заряду	13.05.18-21.05.18	

Студент

( підпис )

Снегірев В.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

( підпис )

Волківський В.Б.

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Магістерська дисертація містить 91 сторінок друкованого тексту, 25 рисунка, 31 таблиць та 40 посилань літератури.

Метою дослідження є вплив різних методів заряду на тривалість життя акумуляторних батарей, дослідження можливості прогнозування тривалості життя акумуляторів на основі даних, отриманих на початкових циклах заряду/розряду, проведення аналізу перехідних процесів, розробка зарядного пристрою та розробка алгоритму ефективного управління ним.

Поставлені у роботі задачі вирішувалися шляхом проведення теоретичних та експериментальних досліджень. Використано основні положення теорії електричних кіл, апарат математичного моделювання. Також застосовувались сучасні методи та програмні засоби комп'ютерного імітаційного моделювання DipTrace для розробки зарядного пристрою, Matlab для розрахунку та прогнозування зміни ємності акумуляторної батареї.

В результаті проведеної роботи були отримані експериментальні дані зміни ємності акумуляторних батарей свинцево-кислотного та нікель-кадмієвого типу, на основі яких було отримані функції апроксимації.

Побудовано експериментальний зарядний пристрій акумуляторних батарей з можливістю заряду асиметрично імпульсним, імпульсним та постійним струмом

В результаті отриманих експериментальних значень ємності та функції апроксимації цих значень, було промодельовано та створено прогнозування подальшої зміни ємності акумуляторної батареї на основі знятих пристроєм даних.

Основні наукові положення дисертації представлено в двох наукових публікаціях.

## **SUMMARY**

The master's thesis contains 91 pages of printed text, 40 sources of literature.

The purpose of the study is the effect of various charge methods on the batteries lifetime, the study of the possibility of predicting battery life on the basis of data obtained in the initial cycles of charge / discharge, analysis of transients, the development of a charger and the development of an algorithm for efficient management.

Work objectives were achieved by carrying out theoretical and experimental researches. The basic provisions of the theory of electric circuits and the apparatus of mathematical modeling were used. Also, modern methods and DipTrace software tools for computer simulation were used to design a charger; Matlab - to calculate and predict the change in battery capacity.

As a result of this work experimental and approximate data of changes in the capacitance of lead-acid and nickel-cadmium type batteries were obtained.

An experimental battery charger with possibility of charge with asymmetrically pulse, pulse, direct current was built.

As a result of the experimental values of the capacity and the function of approximating these values, the forecasting of the subsequent change in the capacity of the battery pack based on the data taken by the device was simulated and built.

The main scientific provisions of the thesis are presented in two scientific publications.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>5</b>
<b>РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКИ АКУМУЛЯТОРІВ І СУЧАСНІ МЕТОДИ ЇХ ЗАРЯДУ .....</b>	<b>9</b>
1.1 Розгляд різних типів акумуляторних батарей.....	9
1.2 Методи заряду акумуляторів.....	19
1.3 Заряд імпульсним асиметричним струмом.....	22
1.4 Дослідження впливу заряду імпульсним струмом на характеристики свинцево-кислотних акумуляторів.....	28
1.5 Поліпшення здатності сприймання заряду свинцевим акумулятором...	34
Висновки до розділу 1 .....	39
<b>РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАРЯДУ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ ІМПУЛЬСНИМ АСИМЕТРИЧНИМ СТРУМОМ .....</b>	<b>40</b>
2.1 Розробка структурної схеми експериментального зарядного пристрою	40
2.2 Принцип роботи пристрою для заряду акумуляторних батарей імпульсно асиметричним струмом .....	44
2.3 Розрахунок та вибір елементів схеми електричної принципової ....	46
Висновки до розділу 2 .....	56
<b>РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ПІДТВЕРДЖЕННЯ .....</b>	<b>57</b>
3.1 Експериментальний зарядний пристрій .....	57
3.2 Дослідження зміни ємності в акумуляторах .....	59
3.3 Експеримент над SLA.....	61
3.4 Експеримент на Ni-Cd .....	65
Висновки до розділу 3 .....	69
<b>РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ ТРИВАЛОСТІ ЖИТТЯ АКУМУЛЯТОРІВ НА ОСНОВІ ДАНИХ, ОТРИМАНИХ НА ПОЧАТКОВИХ ЦИКЛАХ ЗАРЯДУ/РОЗРЯДУ .....</b>	<b>70</b>
4.1 Апроксимація експериментальних даних .....	70

4.2 Прогнозування зміни ємності акумуляторної батареї .....	71
4.3 Розрахунок відхилення функції.....	74
Висновки до розділу 4 .....	75
<b>Розділ 5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ .....</b>	<b>76</b>
5.1 Опис ідеї проекту .....	78
5.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	79
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту\.....	79
5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту .....	82
Висновки до розділу 5 .....	84
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>85</b>
<b>ЛІТЕРАТУРА.....</b>	<b>86</b>
<b>ДОДАТОК А</b>	
<b>ДОДАТОК Б</b>	
<b>ДОДАТОК В</b>	
<b>ДОДАТОК Г</b>	
<b>РЕФЕРАТ</b>	

## ВСТУП

Розглядається проблема зменшення ємності акумуляторів в процесі експлуатації через виникнення ефекту пам'яті або сульфатації (залежно від типу акумулятора та методу заряду), а також розглядаються переваги заряду імпульсним асиметричним струмом у порівнянні з постійним на основі зміни характеристик акумуляторних батарей в ході експериментальних досліджень.

**Метою дослідження** є вплив різних методів заряду на тривалість життя акумуляторних батарей, дослідження можливості прогнозування тривалості життя акумуляторів на основі даних, отриманих на початкових циклах заряду/розряду, проведення аналізу перехідних процесів, розробка зарядного пристрою та розробка алгоритму ефективного управління ним. Мета потребує вирішення наступних завдань:

1. Аналіз характеристик акумуляторних батарей та способів їх заряду;
2. Огляд методів заряду акумуляторних батарей;
3. Розробка зарядного пристрою;
4. Проведення розрахунку перехідних процесів для підбору максимально ефективних тривалостей зарядних/розрядних імпульсів, моделювання та аналіз електромагнітних процесів роботи обраної схеми зарядного пристрою;
5. Розробка програми на основі алгоритму для МКР для ефективного управління зарядним пристроєм акумуляторних батарей.
6. Проведення експериментальних досліджень на різних типах акумуляторних батарей;
7. Аналіз даних, отриманих у ході експерименту, для дослідження можливості прогнозування тривалості життя акумуляторів;
8. Визначення та обґрунтування кращого методу заряду.

**Об'єктом дослідження** в даній роботі є вплив імпульсно асиметричного струму на ємність акумуляторних батарей.



**Предмет дослідження** – способи зменшення деградації ємності акумулятора в процесі експлуатації через виникнення ефекту пам'яті або сульфатації.

**Методи дослідження** спрямовані на вивчення реакції акумуляторних батарей на заряд постійним та імпульсним асиметричним струмом (імпульсний з зворотним імпульсом). Змінення ємностей, залежність кількості циклів на час зарядки та ємність, зміна напруг у часі та під час розряду та заряду акумуляторних батарей. В ході експерименту враховувалися такі характеристики як ємність, струм заряду, напруга на початку циклу заряду, напруги після циклу заряду (без навантаження з підключеним живленням), напруга на початку циклу розряду (з підключеною навантаженням), напруга в кінці циклу розряду (з навантаженням), фіксація швидкості регресії в залежності від кількості циклів і подальше порівняння методів заряду акумуляторів.

Розглядаються три типи акумуляторних батарей: Ni-MH, Ni-Cd та SLA серійного виробництва через масовість і яскраво виражені експлуатаційні недоліки даних типів акумуляторів для того, щоб показати, що зміни в ході експерименту для одного акумулятора можуть мати масовий характер.

Зарядний пристрій, обладнаний системою відстеження напруг і струмів, реагує на зміну параметрів в часі, працює з різними типами і з різним ступенем зношеності акумуляторів.

Момент закінчення заряду визначається за  $\Delta V$  (метод контролю спаду напруги). Коли акумулятор повністю заряджений при подачі струму на нього, напруга заряду починає падати. У момент коли акумулятор повністю заряджений відключається живлення і підключається навантаження.

На Ni-MH, Ni-Cd акумулятори 1900 мА\*ч, які схильні до ефекту пам'яті, були проведені експерименти циклічного заряду імпульсним асиметричним струмом і розряду на резистивний опір. В імпульсі струм заряду був 1А, при циклі розрядки акумулятор розряджався на резистор 1 Ом, що в середньому давало струм розряду в 1,2 А. Для Ni-Cd струм

навантаження від  $2 \cdot C$ , для Ni-Mh струм навантаження від  $0,5 \cdot C$  до  $1 \cdot C$ , де  $C$  – ємність акумулятора.

У SLA акумуляторах, в яких основна проблема зниження ємності це сульфатація пластин, були проведені досліді по заряду і розряду постійним і імпульсним асиметричним струмом, проведені експерименти на двох акумуляторах з номінальною ємністю кожного  $7 \text{ А} \cdot \text{год}$ . Заряд проводився постійним струмом  $1 \text{ А}$  та імпульсним асиметричним з імпульсом заряду  $5 \text{ А}$ . Розряд - за допомогою резистивної навантаження в  $15 \text{ Ом}$  на кожному з акумуляторів, які в середньому давали значення струму рівне  $0,8 \text{ А}$ . Для акумуляторних батарей типу SLA струм навантаження дорівнює від  $0,2C$ , де  $C$  – ємність.

#### **Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:**

1. Проаналізовано методи заряду та обрано зарядний пристрій на основі схеми з використанням різних методів заряду;
2. Спроековано та зроблено експериментальну установку для проведення дослідження;
3. Розроблено програму керування пристроєм для заряду акумуляторних батарей з мікропроцесорною системою керування;
4. Проведено експериментальні дослідження різних типів заряду та на різних акумуляторних батареях масового виробництва;
5. Проведений аналіз даних, отриманих у ході експерименту, та досліджено можливості прогнозування тривалості життя акумуляторів на основі даних, отриманих на початкових циклах заряду/розряду.

#### **Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:**

Побудовано графік змін ємності акумуляторів в залежності від циклу заряду акумуляторної батареї і методу заряду, який наочно показує перевагу імпульсно асиметричного методу заряду над постійним.

На основі даних експериментів були зроблені висновки щодо зменшення ємності в обох випадках, але при використанні заряду

імпульсним асиметричним струмом регресія ємності була зафіксована на 15% менше ніж при постійному струмі.

Розроблено на основі зарубіжних та вітчизняних досліджень новий тип зарядного пристрою, що дозволяє виконувати наступні функції: змінювати метод заряду та розряду в залежності від типу та вимоги користувача та стану акумуляторної батареї.

### **Особистий внесок магістранта**

Наукові положення та результати викладені в дисертації автором особисто.

В друкованих працях, опублікованих у співавторстві, особисто здобувачу належить: в [1] – розробка електричної схеми, та пристрою заряду проведення експерименту викладення результатів у вигляді графіків, таблиць, фотографій та розрахунків.

**Апробація результатів роботи.** Основні наукові положення та результати роботи доповідались та обговорювались на одній конференції, а саме: Міжнародній науково-технічній конференції молодих вчених «Електроніка – 2018» (м. Київ, 2018);

### **Публікації:**

Основні наукові положення дисертації представлено в двох наукових публікаціях, одна опублікована в Електронна та Акустична Інженерія та одна в праці конференції «Електроніка 2018»

### **Структура та об'єм дисертаційної роботи**

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних літературних джерел, додатків. Загальний об'єм становить 91 сторінку, в тому числі 85 сторінок основного тексту. Робота містить 25 рисунків та 31 таблицю, 4 додатків та список використаних джерел з 40 найменувань.

## РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКИ АКУМУЛЯТОРІВ І СУЧАСНІ МЕТОДИ ЇХ ЗАРЯДУ

### 1.1 Розгляд різних типів акумуляторних батарей

Акумулятори являють собою хімічні джерела електричної енергії багаторазової дії. Вони складаються з двох електродів (позитивного і негативного), електроліту і корпусу. Накопичення електричної енергії в акумуляторі відбувається при протіканні хімічної реакції окислювання-відновлення електродів – на позитивному електроді проходить реакція окислювання, а на негативному – реакція відновлення. При розряді акумулятора відбуваються зворотні процеси. Напруга акумулятора – це різниця потенціалів між полюсами акумулятора при фіксованому навантаженні [2].

Для одержання досить великих значень напруг або ємності окремі акумулятори з'єднуються між собою послідовно або паралельно в батареї.

Акумулятори розрізняють по типу використовуваних фізико-хімічних процесів як лужні і кислотні. У лужних акумуляторах електролітом служить водний розчин їдкого лугу (їдкого калію або їдкого натрію з добавкою або без добавки їдкого літію), у кислотних – водний розчин сірчаної кислоти. До лужних відносяться нікель-кадмієві (NiCd), нікель-метал-гідридні (NiMH), літій-іонні (Li-Ion) і літій-полімерні (Li-Polymer) акумулятори. До кислотних - герметизовані свинцево-кислотні (Sealed Lead Acid - SLA). По складу активної маси пластин лужні акумулятори розділяються на: срібно-цинкові, срібно-кадмієві, нікель-кадмієві, нікель-цинкові і залізонікелеві. У кислотних акумуляторах пластини свинцеві. До основних їхніх недоліків варто віднести низьку питому енергію, відносно малий ресурс і найбільший шкідливий вплив на людей та апаратуру з усіх акумуляторів.

### **Герметизовані свинцево-кислотні (Sealed Lead Acid - SLA)**

Електричний акумулятор з категорії вторинних батарей, принцип роботи якого заснований на електрохімічних реакціях свинцю і діоксиду свинцю в кислому сірчаному середовищі.

В залежності від потрібної напруги і загальної ємності акумулятори збирають з кількох елементів. Тому у більшості випадків акумулятор виконується у вигляді послідовного (або паралельного) з'єднання кількох "елементів" кожен з яких забезпечує напругу у 2 В і складається з кількох груп свинцевих пластин вкритих окисом свинцю і кислотою. Свинцева решітка покрита окисом свинцю називають пластиною. Кожен свинцевий елемент, який є групою пластин, має по дві клеми на позитивній стороні елемента, і на негативній. Пластини елемента акумулятора виконують зі свинцю і його двоокису, а роль електроліту належить сірчаній кислоті. Пластини з металевого свинцю мають негативний заряд, а пластини, покриті двоокисом (перекисом) свинцю — позитивний заряд. Пластини чергують таким чином, щоб між пластинами зі свинцю розташовувалися пластини з покриттям з двоокису свинцю. Щоб запобігти короткому замиканню між позитивними і негативними пластинами через фізичний контакт їх розмежовують або сепараторами у вигляді листів або загортають у матеріал з волокнами скловолокна, а потім у пластикову оболонку. Пластини поміщають в контейнер (зазвичай з пластика) і заливають водним розчином кислоти.

Акумулятори мають аварійний клапан через який у небезпечних ситуаціях скидається надлишок газу (так званий "герметизований акумулятор"). У гелево-свинцевих акумуляторах застосовують гелеподібний електроліт.

До переваг свинцево-кислотних акумуляторів відносяться: довговічність, невелика вартість, надійність, низький внутрішній опір.

До недоліків: велика маса; використання отруйних речовин; неможливість розряду акумулятора при температурі нижче  $-40^{\circ}\text{C}$  і заряду при  $0^{\circ}\text{C}$ ; неможливість зберігання акумулятора в розрядженому стані; в окремих випадках — виділення газів при неправильній експлуатації; значний саморозряд, що досягає 1% протягом 24 годин.

Акумуляторні свинцево-кислотні батареї із зарядом в 1 А·год/батарея забезпечують силу струму набагато меншу, ніж у лужних. Свинцево-кислотні акумулятори мають вищу робочу напругу в порівнянні з лужними акумуляторами. Але вони мають нижчі питомі енергетичні характеристики і значно менший ресурс при циклічності до вичерпання запасеної ємності. Ці батареї частіше використовуються для роботи в буферному режимі, при якому вони зберігають працездатність до 10–12 років.

Акумулятори характеризуються такими параметрами:

- напруга зарядженого акумулятора 2,0 - 2,25 В;
- напруга розрядженого акумулятора 1,7 - 1,8 В;
- напруга під час заряду до 2,45 В;
- ККД до 80%;
- термін служби (кількість циклів заряд-розряд) 300 - 800;
- саморозряд на добу 1 - 2%

Хоча свинцево-кислотний акумулятор може мати найвищу ємність при температурах понад  $30^{\circ}\text{C}$ , але тривала експлуатація при таких умовах скорочує функціональність акумулятора.

### **Нікель-кадмієві акумулятори (NiCd)**

Нікель-кадмієві акумулятори мають нікелевий анод і кадмієвий катод. Акумулятори цього типу характеризуються низьким внутрішнім опором, а тому можуть подати на вихід досить сильний струм, який практично не змінюється при розряді. Напруга на виході також залишається практично

незмінним доти, поки заряд майже зовсім не закінчиться. Тоді напруга на виході різко спадає практично до нуля.

Нікель-кадмієві акумулятори витримують до 1000 циклів зарядки/розрядки без істотного погіршення характеристик. Вони відносно легкі і енергоємні. Серйозним недоліком цих акумуляторів є "ефект пам'яті". Якщо такий акумулятор розрядити не повністю, а потім поставити заряджатися, то його ємність може зменшитися. Дані акумулятори застосовуються в різних пристроях із середнім і високим споживанням струму, таких як мобільні комп'ютери, відеокамери, фотоапаратури.

Основні переваги даного типу акумуляторів:

- працездатність у широкому інтервалі робочих струмів заряду/розряду і температур навколишнього середовища (припустимий струм розряду становить  $0,2-2 C_n$ , діапазон робочих температур — від  $-40^{\circ}$  до  $+50^{\circ}$  °C), де  $C_n$  — це номінальна ємність акумулятора, тобто ємність при нормальних умовах розряду (при розряді номінальним струмом  $i$ , звичайно, при температурі  $20^{\circ}$ °C);
- висока навантажувальна здатність при низьких температурах (NiCd-акумулятор при низьких температурах можна перезаряджати);
- можливість швидкої і простої зарядки в будь-якому режимі (NiCd-акумулятори невимогливі до типу зарядного пристрою);
- велика кількість циклів заряду/розряду (при правильному обслуговуванні NiCd-акумулятор витримує понад 1000 циклів);
- можливість відновлення після зниження ємності або тривалого зберігання;
- низька ціна, тривалий термін служби і широка доступність у будь-якому асортименті споживчих формфакторів.

### **Нікель-метал-гідридні акумулятори (NiMH)**

Нікель-метал-гідридні акумулятори мають гідридний катод і нікелевий анод. Гідриди хімічно являють собою сплави таких металів, як цинк, літій або нікель, здатні зв'язувати атомарний водень в об'ємі в 1000 разів перевищуючому їх власний. Нікель-металгідридні елементи можуть виробляти струм великої сили і витримують близько 500 циклів зарядки/розрядки. Нікель-метал-гідридні акумулятори не мають "ефекту пам'яті". Завдяки використанню водню як катода, ці акумулятори мають більшу питому ємність (на 50%) у порівнянні з нікель-кадмієвими елементами. Акумулятори цього типу безпечні для навколишнього середовища. Ці елементи сильніше підлягають саморозрядженню. Деякі з них втрачають до 5% заряду за день. У процесі заряду нікель-метал-гідридні акумулятори виробляють тепло. При досягненні повного заряду вони можуть нагріватися досить значно. Тому при їх заряді необхідно стежити за температурою акумулятора і за напругою при заряді. Нікель-метал-гідридні акумулятори добре підходять для використання в побуті у відеокамерах, стільникових телефонах, калькуляторах. До основних переваг даного типу акумуляторів відносять:

- висока питома енергія по масі і обсягу (ємність в 1,5-2 рази більше, ніж у стандартних NiCd-акумуляторів тих же габаритів);
- широкий діапазон робочих температур від  $-10$  до  $+40$  °C;
- менша схильність до ефекту пам'яті, чим в NiCd-батареях;
- стійкість до тривалого перезаряду малими струмами;
- механічна міцність і стійкість до механічних навантажень;
- тривалий термін служби і зберігання (у розрядженому стані);
- менша токсичність при утилізації.

### **Літій-іонні акумулятори (Li-Ion)**

Під назвою «літій-іонні акумулятори» об'єднані джерела з різною хімічною начинкою:



- літій/тіонілхлоридні ( $\text{Li/SOCl}_2$ );
- літій/оксид сірки ( $\text{Li/SO}_2$ );
- літій/оксид нікелю ( $\text{Li/Ni}_2$ );
- літій/оксид марганцю ( $\text{Li/Mn}_2$ ).

Найпоширенішим Li-Ion-акумулятором є акумулятор з вугільним анодом і катодом з літій-кобальт-діоксиду.

Електроліт у своїй основі містить розчин солей літію. Літій хімічно активний метал, завдяки цьому батареї мають дуже велику ємність і найвищу номінальну напругу. Літій-іонні акумулятори витримують більше 1000 циклів перезарядження, працюють у широкому діапазоні температур і екологічно безпечні. Літій-іонні елементи не мають "ефекту пам'яті". Внутрішній опір у літієвих акумуляторів вище, ніж у нікель-кадмієвих тому вони не забезпечують великі розрядні струми. Дані акумулятори призначені для застосування в енергоємних пристроях, таких як цифрові відеокамери, переносні комп'ютери, стільникові телефони.

З переваг сучасних Li-Ion-акумуляторів у порівнянні з іншими технологіями можна відзначити наступні:

- найвищий рівень питомої ємності і щільності розрядного струму;
- мінімальний саморозряд;
- тривалий термін служби (до 10 років);
- велика кількість циклів заряду/розряду (понад 1000 циклів);
- працездатність у широкому діапазоні температур;
- високе збереження запасеної енергії і постійна готовність до роботи.

#### **Літій-полімерні акумулятори (Li-Polymer)**

Перевагою літій-полімерних акумуляторів є відсутність рідкого електроліту. Анод в таких акумуляторах відділений від катода полімерною перегородкою - композитним матеріалом, який містить літієву сіль. При

однаковій питомій щільності, літій-полімерні батареї можуть зберігати на 22% більше енергії, чим аналогічні літій-іонні. Це досягається за рахунок заповнення об'ємів у кутах відсіку, які залишилися б невикористаними у випадку застосування циліндричної батареї. Крім цього, літій-полімерні елементи є екологічно безпечними і більш легкими, за рахунок відсутності зовнішнього металевого корпусу. Застосовуються дані акумулятори в енергоємних пристроях: переносних комп'ютерах, цифрових відеокамерах, стільникових телефонах.

Акумулятори мають наступні характеристики:

строк служби акумулятора;

номінальну ємність акумулятора;

внутрішній опір акумулятора;

щільність енергії зарядженого акумулятора;

коефіцієнт віддачі - це відношення кількості електрики в кулонах (або в ампер-годинах Ампер\*год.), відданого акумулятором при повному розряді, до кількості електрики, отриманої при заряді;

коефіцієнт корисної дії акумулятора - це відношення кількості електрики, що він віддає споживачеві, розряджаючись до встановленої межі для продовження нормальної роботи останнього, до кількості, отриманої ним при заряді;

орієнтовану відносна вартість 1 Вт\*год енергії, отриманої від різних типів акумуляторів однакової ємності.

Параметри найбільш розповсюджених типів акумуляторів приведені в табл. 1.1

Таблиця 1.1

Параметри найбільш розповсюджених типів акумуляторів

Акумулятор Параметр	Свинцево- кислотний	Нікель- метал- гідридний	Нікель- кадмієвий	Літій- іонний	Літій- полімерний	Срібно- кадмієвий
1	2	3	4	5	6	7
Анод (+)	Pb	Fe	Cd	Zn	Zn	Cd
Катод (-)	PbO <sub>2</sub>	NiO <sub>x</sub>	NiO <sub>x</sub>	NiO <sub>x</sub>	AgO	AgO
Напруга холостого ходу, В	2,15	1,4	1,35	1,8	1,86	1,4
Напруга під навантаженням, В	1,75–1,9	1,1–1,3	1,1–1,3	1,5–1,7	1,3–1,5	1,1
Макс. ємність, Ампер*год/кг	55	195	165	185	285	230
Питома енергія, Вт*год/кг	12-14	16	18	40	60	30
Накопичувана енергія, Вт*год/дм <sup>3</sup>	25...30	16,6	30	54	54	42
Циклічний термін служби (глибокі цикли)	1000	3000	1500	300	50	200
Термін збереження, років	3	5	5	–	–	6
Характеристики при низькій температурі (відношення ємності при 0°C до ємності при 25°C),	60%	35%	65%	40%	35%	50%
Збереження заряду при 25°C (до ємності 80%), місяць	18	3	6	6	6	9
Збереження заряду при 45°C (до ємності 80%), місяць	6	1	1	1	1	2

Під ємністю, що віддається, розуміють максимальну кількість електрики в кулонах (Ампер\*год), що акумулятор віддає при розряді до обраної кінцевої напруги. В умовній позначці типу акумулятора приводиться номінальна ємність, тобто ємність розряду (при розряді номінальним струмом і при температурі 20°C).

При паралельному з'єднанні акумуляторів, тобто при з'єднанні між собою позитивних і негативних полюсів всіх елементів відповідно, можна скласти батарею великої ємності з напругою, рівною номінальній напрузі одного акумулятора і ємністю, рівній сумі ємностей складових її акумуляторів. Існує ряд загальноприйнятих напруг для акумуляторних батарей: 2; 4; 6; 12; 24 В

Номінальною ємністю акумулятора називається ємність, гарантовану заводом виготовлювачем за певних умов розряду. Зарядною ємністю називається кількість електрики, що віддається акумуляторові при заряді. Зарядна ємність завжди трохи більше розрядної через необоротні процеси, що протікають при заряді і розряді.

В акумуляторах, що знаходяться в експлуатації безупинно повторюється послідовність електрохімічних перетворень. Одну послідовність заряду/розряду акумулятора називають циклом. Під глибокими циклами розуміють цикли повного заряду/розряду акумулятора при нормальних умовах.

З кожним циклом акумулятори зношуються. Довговічність акумулятора оцінюють кількістю циклів. Цей параметр різний для різних типів акумуляторів. В одних акумуляторах при нормальних умовах експлуатації вона складає не більш ніж 10 циклів, в інших досягає 100 і 1000 циклів. Погіршення параметрів акумулятора і вихід з ладу обумовлені в першу чергу корозією ґратки і оповзанням активної маси позитивного електрода.

Довговічність акумуляторів залежить від:

- ресурсу закладеного в електрохімічну систему і конструкцію акумулятора;
- умов введення в експлуатацію;
- умов експлуатації.

При виборі акумуляторів необхідно враховувати залежність питомої енергії від температури навколишнього середовища, що приведена в табл. 1.2. З табл. 1.2 видно, що вагова питома енергія срібно-цинкових акумуляторів у значно більшій степені залежить від температури. Приблизно так само залежить від температури об'ємна питома енергія акумуляторів.

Таблиця 1.2

– Залежність питомої енергії від температури навколишнього середовища

Акумулятор	Питома енергія, Вт*год/кг, при температурі, °C				Вплив на апаратуру і людей
	20	0	–20	–40	
Свинцево-кислотний	36	29	18	8	Найбільш шкідливі з усіх акумуляторів
Нікель-кадмієвий, ламельний	20	16	11	5	Менш шкідливі, ніж кислотні
Нікель-кадмієвий, безламельний	38	33	26	19	Менш шкідливі, ніж кислотні
Залізонікелевий	18	13	9	–	Менш шкідливі, ніж кислотні
Срібно-цинковий	90	75	35	6	Найменш шкідливі з усіх акумуляторів

Важливою характеристикою акумуляторів є орієнтована відносна вартість 1 Вт\*год енергії, отриманої від різних типів акумуляторів приблизно

однакової ємності і приведена відносно вартості 1 Вт\*год енергії свинцево-кислотного акумулятора (табл. 1.3).

Як видно з табл. 1.3 дорожче всього обходиться енергія, одержувана від срібно-цинкових і кадмієвих акумуляторів, і дешевше від свинцево-кислотних, прийнятих у даному випадку за одиницю.

Таблиця 1.3

- Відносна вартість 1 Вт\*год енергії, одержуваної від акумуляторів

Акумулятор	Відносна вартість
Свинцево-кислотний	1
Нікель-кадмієвий, ламельний	3
Нікель-кадмієвий, безламельний	13
Залізонікелевий	2
Срібно-цинковий	15

## 1.2 Методи заряду акумуляторів

Заряд акумулятора відбувається, якщо до нього прикладений потенціал, що перевищує його напругу. Процес заряду акумулятора характеризується швидкістю та струмом його заряду.

Швидкість заряду акумулятора може бути визначена в термінах ємності як відношення  $C/t$ , де  $C$  – ємність акумулятора,  $t$  – час за який заряджається акумулятор.

Струм заряду акумулятора пропорційний різниці прикладеної напруги і напруги холостого ходу. Акумулятор ємністю 100 Ампер\*год при розряді зі швидкістю  $C/5$  цілком розрядиться за 5 годин, при цьому струм розряду складе  $100/5$ , або 20 А. Якщо акумулятор заряджається зі швидкістю  $C/10$ , то струм його заряду буде дорівнює  $100/10$ , або 10 А. Швидкість заряду можна

оцінити в тривалостях циклу. Так, якщо акумулятор заряджається за 5 годин, то він має цикл 5 годин [3].

При заряді акумуляторів застосовують наступні способи заряду:

- при постійному струмі ( $I=\text{const}$ );
- при постійній напрузі ( $U=\text{const}$ );
- комбінований спосіб – заряд при постійному струмі до досягнення на акумуляторі визначеної напруги, яка потім підтримується постійною доти, поки струм не знизиться до визначеного значення;
- переривчастим струмом;
- імпульсним асиметричним струмом.

У залежності від області застосування акумуляторів розрізняють ще деякі різновиди вищезгаданих способів заряду:

- швидкий заряд;
- циклічний заряд;
- плаваючий заряд – метод підтримки підзаряджаємої батареї при повному заряді шляхом подачі зворотної постійної напруги для компенсації в ній різних втрат;
- компенсаційний підзаряд – метод, при якому для приведення батареї в цілком заряджений стан і підтримки її в цьому стані використовується постійний струм заряду.

При швидкому заряді потрібно від 4 до 6 годин, у той час як тривалість розряду в штатному режимі варіюється від 10 до 15 годин. При циклічному заряді потрібна постійна напруга або постійний струм заряду. Іноді використовується плаваючий заряд, під час якого навантаження й акумулятор включаються паралельно, або компенсаційний підзаряд, коли потужність постійного струму подається в навантаження, у той час як ланцюг заряду акумулятора з навантаженням не з'єднаний.

На практиці найчастіше використовується швидкий заряд акумулятора (до 90% ємності) з наступним автоматичним переключенням на меншу швидкість заряду (до повної ємності).

Основними об'єктами досліджень даної роботи будуть нікель-кадмієві акумуляторні батареї (NiCd) серійного виробництва, які, завдяки своїм перевагам, залишаються найбільш розповсюдженими джерелами електроживлення переносних радіостанцій, медичного устаткування, відеокамер, пристроїв реєстрації і електроінструмента [4]. Тому розглянемо існуючі методи їх заряду.

Метод квазі-постійного струму характеризується тим, що на початку заряду напруга батареї має мінімальне значення, струм заряду максимальний і по мірі заряду батареї напруга зростає, а струм заряду зменшується. Величина обмежуючого опору **R** визначає максимальний струм заряду батареї на початку періоду на рівні  $0,1C$  (де  $C$  – ємність акумулятора в Ампер\*год, а  $0,1$  – коефіцієнт у  $ч^{-1}$ ).

Двоінтервальні методи заряду характеризуються розбивкою часу заряду на два інтервали. Відмінність методів полягає в організації контролю закінчення першого інтервалу, у той час як на другому інтервалі у всіх методах здійснюється компенсація саморозряду батареї струмом  $0,05C \div 0,033C$ . У методі заряду за часом на першому, жорстко заданому інтервалі відбувається основний заряд батареї струмом  $0,2C$  і тривалість інтервалів контролюється таймером, що входить до складу системи. У методі заряду з контролем спаду напруги на першому інтервалі заряд здійснюється постійним струмом  $0,5C \div 1C$  і ознакою його закінчення є спад напруги батареї, що складає  $15 \div 20$  мВ на один елемент і визначається за допомогою компаратора. У методі контролю градієнта температури батареї на першому інтервалі відбувається основний заряд струмом  $0,5C \div 1C$ , ознакою закінчення якого є зростання градієнта температури батареї в наслідок електролізу води,



що супроводжується виділенням тепла і контроль над яким здійснюється за допомогою датчика температури, що входить до складу системи.

Метод з безперервною підзарядкою батареї, або метод заряду батареї в буферному режимі характеризується безперервним зарядом невеликим струмом, що не здатний викликати ефект перезарядження і підтримує батарею в максимально зарядженому стані. Величина струму заряду вибирається виходячи з періодичності використання батареї – при частому використанні контролер, що веде статистику періодичності використання батареї, установлює струм заряду  $0,033C \div 0,05C$ , а при рідкому використанні  $0,02C \div 0,033C$ . При зникненні зовнішнього живлення заряджена батарея підключається до навантаження за допомогою реле, що включається системою керування. Даний метод також відноситься до двоінтервальних, але, на відміну від попередніх, у ньому жорстко обмежується час розряду.

У методі імпульсного заряду батарея заряджається імпульсами струму з постійною амплітудою, рівної  $2C$ . Між імпульсами струму є короткі паузи (rest-періоди), протягом яких батарея знаходиться в стані спокою, і які дозволяють хімічним реакціям у батареї рівномірно розподілятися по всій поверхні електродів. Така форма струму частково запобігає ефектові пам'яті, що виявляється в зменшенні реальної ємності акумулятора в процесі експлуатації.

Існує також метод заряду імпульсним асиметричним струмом, або метод імпульсного заряду зі зворотним викидом. Будемо проводити дослідження саме цього методу заряду.

### **1.3 Заряд імпульсним асиметричним струмом**

Заряд акумуляторів імпульсним асиметричним струмом характеризується зарядом батареї імпульсами струму з постійною амплітудою, рівною  $1 \cdot C$  (де  $C$  – номінальна ємність акумулятора), між якими

є короткі імпульси розрядного струму з амплітудою  $0,2 \cdot C$ . Завдяки цим імпульсам розряду кисень, який виділяється в процесі заряду, видаляється з реагуючої пластини, що попереджує її окислення і продовжує строк служби батареї. У результаті досягається збільшення зарядної ємності  $C_z$  на 10-15%, скорочення часу заряду  $t_z$  на 10-15% (у порівнянні з параметрами, одержуваними при заряді постійним струмом), а також підвищення ресурсу акумуляторної батареї. Але навіть сучасні схеми зарядних пристроїв імпульсним асиметричним струмом мають невисокий ККД, що стає на заваді до використання імпульсним асиметричного струму для заряду кислотних акумуляторних батарей, хоча він і має такі суттєві переваги у порівнянні з зарядом постійним струмом.

В [16, 17, 18] приведено ряд схемних рішень, внаслідок яких пропонуємий метод заряду акумуляторних батарей дозволяє підвищити ККД пристроїв заряду завдяки збереження енергії імпульсу розрядного струму. Існують наступні способи реалізації енергозберігаючого методу заряду імпульсним асиметричним струмом:

спосіб заряду акумулятора зі збереженням енергії імпульсу розрядного струму в накопичувальному реактивному елементі [16];

спосіб заряду групи акумуляторів зі збереженням енергії імпульсу розрядного струму шляхом її передачі в один з акумуляторів [17];

спосіб заряду акумуляторної батареї в буферному режимі зі збереженням енергії імпульсу розрядного струму шляхом передачі її в навантаження [18].

1. Спосіб заряду акумулятора зі збереженням енергії імпульсу розрядного струму в накопичувальному реактивному елементі реалізується за допомогою схеми наведеної на рис. 1.1 [1].

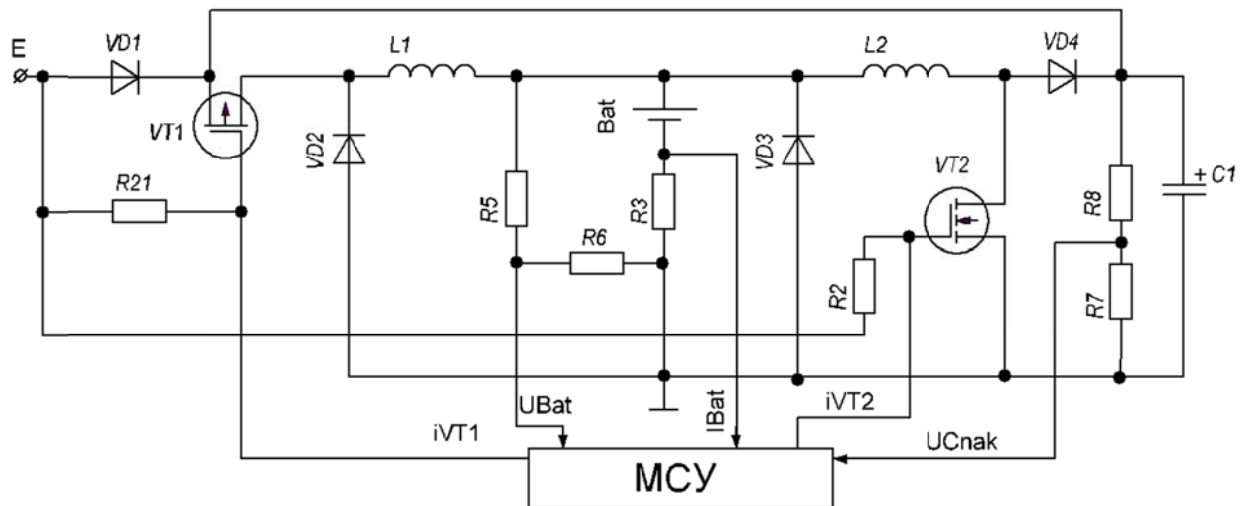


Рис. 1.1 Схема заряду акумулятора зі збереженням енергії імпульсу розрядного струму

Схема складається з двох ШПІ. Перший – понижуючого типу на елементах VT1, VD1, L1,  $E_{AB}$ , формує зарядний імпульс. Другий ШПІ – підвищуючого типу на елементах L2, VT3, VD2, Cнак., формує розрядний імпульс, енергія якого зберігається у накопичувальному конденсаторі Cнак.. Транзистор VT2 використовується для підключення акумуляторної батареї (АБ) до підвищуючого ШПІ. При досягненні на накопичувальному конденсаторі Cнак. визначеної напруги його потрібно розрядити на АБ. Розряд накопичувального конденсатора проводиться ШПІ понижуючого типу на елементах VT4, VD1, L1,  $E_{AB}$ , під час формування зарядного імпульсу.

Напруга мережі (E) надходить на вхід понижуючого ШПІ, який формує імпульс зарядного струму необхідної амплітуди. В проміжках між зарядними імпульсами формується розрядний імпульс акумуляторної батареї через транзистор VT2, який використовується для підключення АБ до підвищуючого ШПІ, який формує імпульс розрядного струму, енергія якого зберігається на накопичувальному конденсаторі Cнак.. При досягненні необхідної напруги на накопичувальному конденсаторі він використовується як джерело напруги замість основного (E) у ШПІ понижуючого типу на



елементах: у 1 ланці – VT1, VD1, L1, E<sub>AB1</sub>; у 2 ланці – VT4, VD3, L4, E<sub>AB2</sub>; у 3 ланці – VT7, VD5, L7, E<sub>AB3</sub>, формують зарядний імпульс у кожній з ланок. Другі ШПП – підвищуючого типу на елементах: у першій ланці – L2, VT3, L3, VD2; у другій ланці – L5, VT6, L6, VD4; у третій ланці – L8, VT9, L9, VD6, формують розрядний імпульс, енергія якого передається у накопичувальний дросель понижуючого ШПП наступної ланки, причому вихід підвищуючого ШПП останньої ланки з'єднаний з накопичувальним дроселем понижуючого ШПП першої ланки. Транзистори VT2, VT5 і VT8 використовуються для підключення акумуляторної батареї (АБ) до підвищуючого ШПП.

Напруга мережі E надходить на вхід понижуючого ШПП першої ланки, який формує імпульс зарядного струму необхідної амплітуди. В проміжках між зарядними імпульсами формується розрядний імпульс акумуляторної батареї через транзистор VT2, що використовується для підключення АБ1 до підвищуючого ШПП, котрий формує імпульс розрядного струму, енергія якого передається у накопичувальний дросель ШПП наступної ланки, де сумується зі струмом, отриманим із мережі живлення, причому енергія імпульсу розрядного струму останньої ланки передається у накопичувальний дросель ШПП першої ланки. Керування широтно-імпульсними перетворювачами пристрою здійснюється сигналами, які надходять з СК на входи керування.

3. В системах гарантованого електроживлення акумуляторні батареї використовують як буферний елемент. Якщо акумуляторна батарея працює у буферному режимі, доцільною є розробка пристрою її заряду імпульсним асиметричним струмом, що дозволить подовжити строк експлуатації акумуляторних батарей у системах гарантованого електроживлення, забезпечить зменшення забруднення навколишнього середовища та зменшить фінансові затрати на технічне обслуговування батарей та на оновлення парку батарей. Принцип дії пристрою для заряду імпульсним асиметричним струмом акумуляторної батареї в буферному режимі (рис.1.3.)

[17] базується на передачі енергії імпульсу розрядного струму у навантаження. Енергія імпульсу розрядного струму додається до струму, отриманого із мережі живлення і використовується для живлення навантаження.

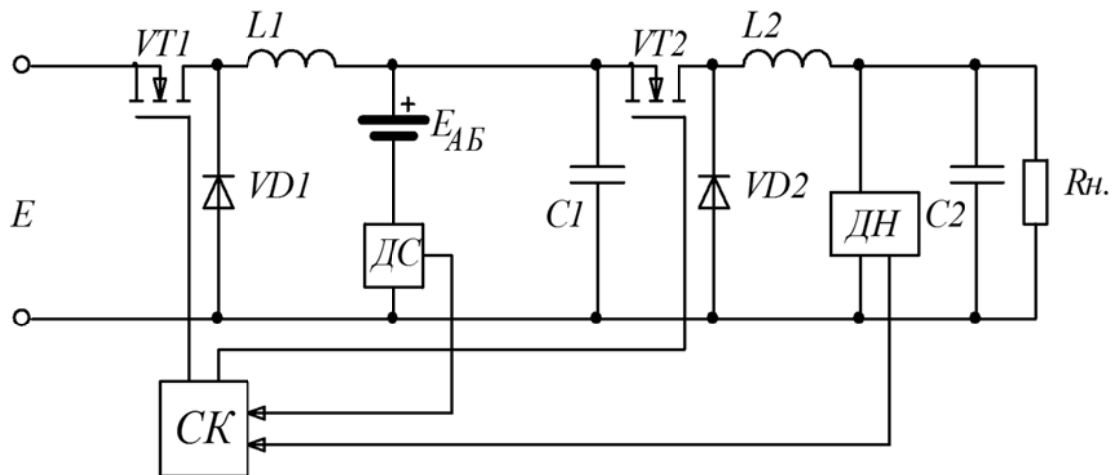


Рис. 1.3 Пристрій для заряду імпульсним асиметричним струмом акумуляторної батареї в буферному режимі

Для того щоб сформувати імпульси зарядного та розрядного струму необхідних параметрів, пристрій для заряду імпульсним асиметричним струмом акумуляторної батареї в буферному режимі, містить два перетворювача. Перший перетворювач – ШПП понижуючого типу (VT1, VD1, L1,  $E_{AB}$ ), який формує імпульс зарядного струму необхідної амплітуди, а також живить перетворювач, який під'єднаний до його виходу і акумуляторної батареї. Схема містить також систему керування (СК), датчик струму (ДС) і датчик напруги (ДН).

Другий перетворювач може бути одним з трьох видів ШПП (підвищуючий, понижуючий, або полярно-інвертуючий), або будь-який інший перетворювач електроенергії, який забезпечить належне живлення навантаження ( $R_n$ ). У якості приклада для другого перетворювача було обрано ШПП понижуючого типу (C1, VT2, VD2, L2, C2,  $R_n$ ). Другий

перетворювач формує імпульс розрядного струму необхідної амплітуди, а недостачу енергії компенсує за рахунок енергії, отриманої від першого перетворювача. Таким чином акумуляторна батарея, працюючи у буферному режимі, заряджається імпульсним асиметричним струмом і одночасно забезпечується живлення навантаження.

У разі припинення з якихось причин живлення від основного джерела, система гарантованого електроживлення автоматично перейде на живлення навантаження від акумуляторної батареї.

#### **1.4 Дослідження впливу заряду імпульсним струмом на характеристики свинцево-кислотних акумуляторів**

Розглянемо більш детально переваги заряду різних типів акумуляторів імпульсним струмом. В [17] приведені результати заряду свинцево-кислотних акумуляторів постійним струмом/постійною напругою та імпульсним (асиметричним) струмом. В найпростішому варіанті стандартний пристрій для заряду акумуляторів постійною напругою може складатися лише з вхідного трансформатора та мостового випрямляча, інколи не маючи навіть згладжуючого фільтра. Перевагами такого пристрою є його низька вартість та простота виготовлення. До недоліків можна віднести наступне:

- низьку якість зарядного струму;
- відсутність системи керування, яка мала б змінювати режим заряду в залежності від процесів, що відбуваються в акумуляторі;
- суттєве зменшення ємності акумулятора, після кожного циклу такого заряду внаслідок кристалізації активної речовини.

Для оцінки продуктивності зарядного пристрою та запропонованого в [18] методу заряду, були взяті дві 28-амперчасові батареї. Одну з яких оснастили датчиками тиску і температури для моніторингу. На рис. 1.4 показано відібрану типову. На рис. 1.4 показано типовий графік

аккумуляторної батареї з використанням звичайного способу заряду. Заряд свинцево-кислотної батареї постійним струмом. Після 3-х годин батарея заряджена на 50% ємності та швидкість заряджання решти 50% стає дуже низькою, і займатиме декілька десятків годин. Спроби збільшити швидкість заряду АБ обмежені, оскільки ні потужність джерела енергії, ні внутрішні температурні характеристики не можуть відчутно зменшити час заряду. Саме на цій ділянці кривої графіка заряд імпульсним струмом здатний забезпечити явні переваги в швидкості заряду.

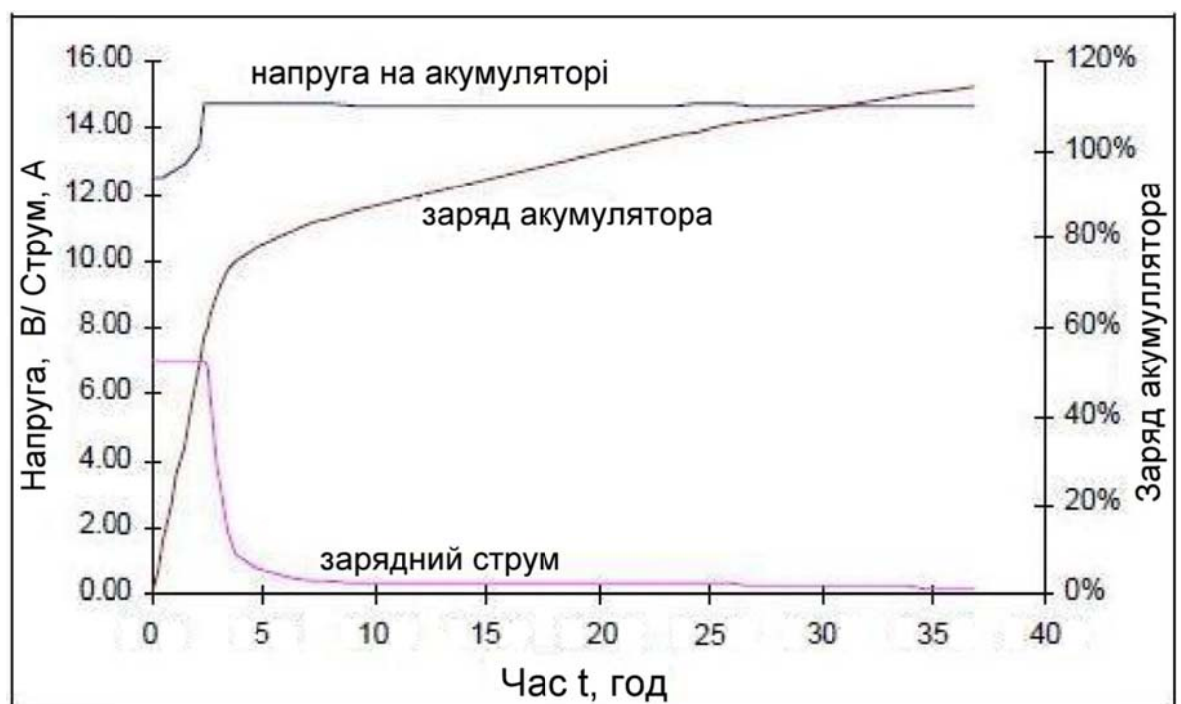


Рис. 1.4 Графік аккумуляторної батареї з використанням звичайного способу заряду

Схеми заряду постійним струмом при постійній напрузі надають мало інформації для визначення стадії заряду батареї або її стану.

Ця ж батарея була протестована імпульсами постійного струму з піковим значенням в 28 А, який діяв протягом 200 мсек, і 0 А тривалістю 600 мсек, що складає повний період в 800 мсек при середньому значенні струму 7 А для порівняння зі звичайним зарядним пристроєм. На рис. 1.5 показано напругу на вході АБ і внутрішній тиск в герметичному VRLA свинцево-



кислотному елементі. Імпульси постійного струму подібні постійному струму, оскільки еквівалентна передача заряду суворо лінійна. Заряд елемента супроводжувався невеликим, повільно зростаючим тиском приблизно в 3,4 кПа. Потім після 2-х годин почалося досить різке його наростання, поки тиск в елементі не перевищив випускний тиск, після чого він різко зменшився в міру скидання газу через клапан. Через 3 години процес заряду був перерваний, оскільки АБ почав "шипіти", через критичний тиск газів.

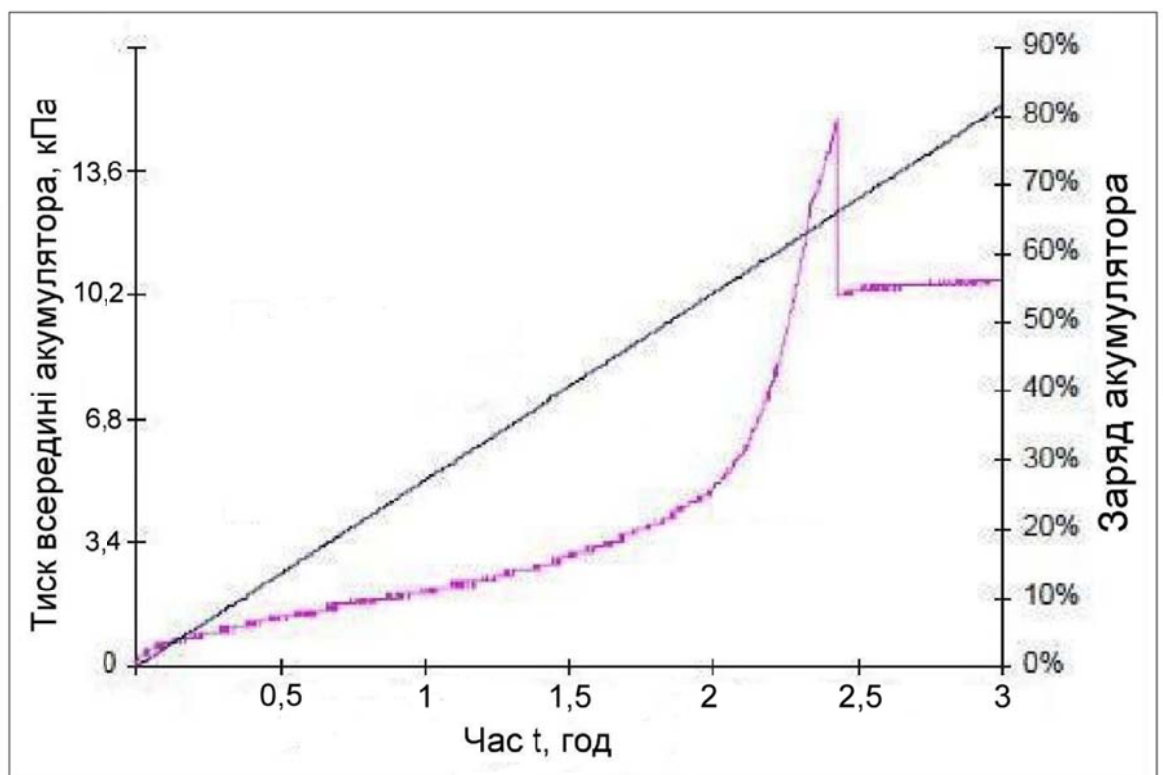


Рис. 1.5 Напруга на вході АБ і внутрішній тиск

На рис. 1.6 представлені відносні швидкості заряду методами постійного струму та імпульсного струму. Графіки заряду акумулятора при заряді постійним та імпульсним струмами. Обидва методи мають приблизно однакові швидкості заряду, невелика відмінність пояснюється обмеженнями в залежності від типу контролю в процесі заряду. При наближенні часу

заряду до 2,5 годин напруга в звичайному зарядному пристрої обмежується на рівні 14,7 В і струм починає зменшуватися.

У порівнянні з цим заряд постійними імпульсами триває з колишньою швидкістю, передаючи більший обсяг заряду.

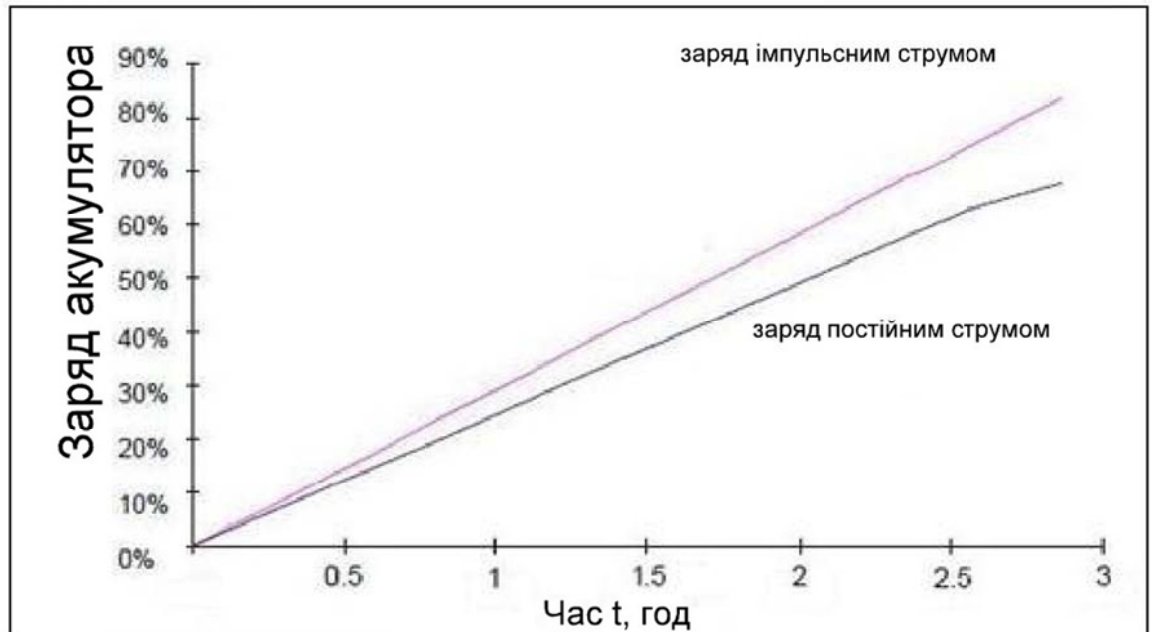


Рис. 1.6 Графіки заряду акумулятора при заряді постійним та імпульсним струмами

В області глибокої зарядженості батареї стає очевидно, що метод заряду імпульсами струму постійної ширини не є оптимальним, оскільки так само, як і постійнострумовий метод, призведе до надмірного газоутворення. Для усунення цієї проблеми необхідно зменшити тривалість імпульсів струму, але не на ділянці з незначним насиченням, оскільки там здатність батареї приймати заряд вища і збільшуючи ширину імпульсу (середнє значення струму) можна прискорити заряджання АБ.

Як вже зазначалося вище, в зарядному пристрої необхідно передбачити змогу впливати на процес заряду, оскільки це дасть змогу ефективно заряджати акумулятори. Виправданим є використання широтно-імпульсної модуляції зарядного струму. Альтернативний спосіб імпульсного заряду, який дозволяє уникнути проблем, які обговорювалися вище, використовує

контролер, який дозволяє середньому струму змінюється, наприклад передбачення можливості припинення імпульсу, якщо виявиться, що допустиму напругу газоутворення батареї ось-ось буде перевищено. Тому потрібно, щоб кожен імпульс струму тривав якомога довше в межах максимального періоду, але при цьому напруга батареї не повинна перевищити напругу газоутворення. У подальшому напруга на клеммах акумулятора постійно моніториться, таким чином, що, коли виявлялося, що пік внутрішньої напруги, перевищив напругу виділення газів, імпульс струму припинявся.

Дві досліджувані батареї були заряджені по цій схемі зі зміною імпульсних струмів. Знову величина струму була обрана в 28 А, але цей максимальний струм міг бути застосований на протязі не більше 780 мсек на періоді в 800 мсек. Тривалість імпульсу струму природно знижувалася в міру збільшення заряду батареї, оскільки скорочувався час наростання напруги, вільного від впливу опору, до напруги газоутворення. На рис.1.7 показані час дії імпульсу струму і вхідний заряд, переданий батареї. Заряд імпульсним струмом зі зміною параметрів зарядних імпульсів

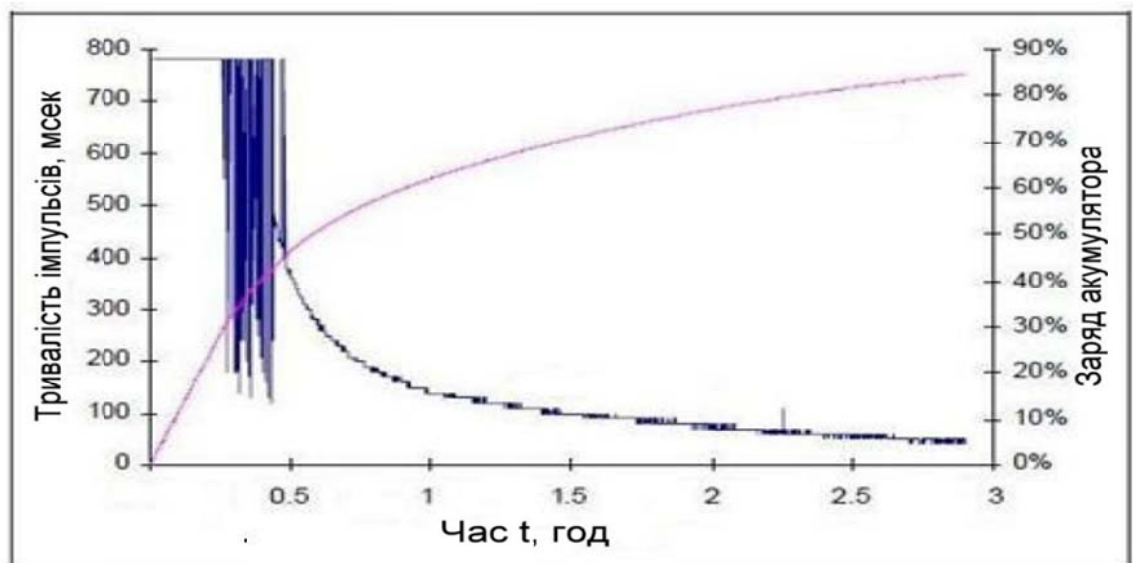


Рис. 1.7 Час дії імпульсу струму і вхідний заряд

Як видно з графіка – в перші 45 хвилин акумулятор отримує 50% своєї ємності, після чого амплітуда імпульсів зарядного струму зменшується разом із їхнім періодом – з 800 мс, до 100 мс. Таким чином система керування реагує на зміни в внутрішньому тиску акумулятора (тискові газів), зменшуючи тривалість імпульсів і доводячи заряд акумулятора до 90 % його номінальної ємності.

На рис.1.8 показано, як змінюється внутрішній тиск у батареї з плином часу. Внутрішній тиск акумулятора під час імпульсного заряду. На початку етапу заряду, коли глибина зарядженості батареї невелика, тривалість імпульсу відповідає максимальним 780 мсек, тому відбувається швидке наростання внутрішнього тиску в допустимих для акумулятора межах, оскільки не відбувається його скидання через клапан. Внутрішній тиск потім падає, оскільки тривалість імпульсу починає зменшуватися.

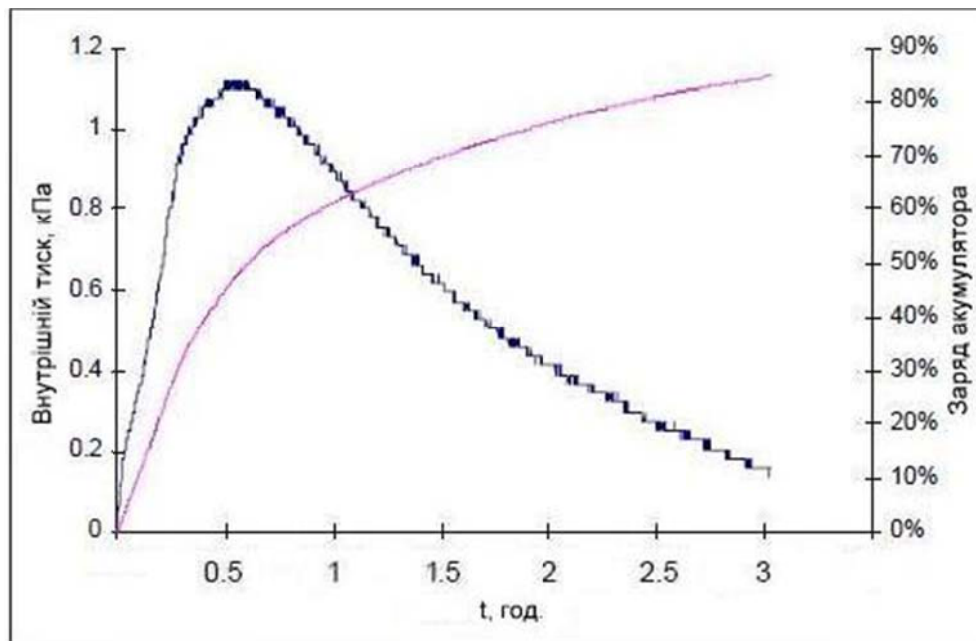


Рис. 1.8 Зміна внутрішнього тиску у батареї з часом

Ці зміни внутрішнього тиску, частково є результатом підвищення внутрішньої температури (від температури навколишнього повітря (25 °C до 36 °C) за рахунок резистивних втрат потужності в батареї. Якщо припустити

ідеальні умови для газу, то залежність зміни тиску від зміни температури (при постійному об'ємі) може бути виражена таким чином:

$$P_2 = \frac{P_1 T_2}{T_1} = \frac{101,3 \cdot (273 + 36)}{273 + 25} = 105 \text{ кПа};$$

Якщо припустити, що в стані спокою внутрішній тиск в акумуляторі дорівнює 101,3 кПа, то при підвищених температурах очікується зміна тиску майже в 4 кПа, і для цього типу заряду більша його частина буде пов'язана з внутрішнім нагрівом. При більш високих ступенях зарядженості пропонується спосіб природно знижує середній струм, так що внутрішні втрати батареї будуть менше. Це сприяє зниженню внутрішнього тиску, оскільки батарея охолоджується.

### **1.5 Поліпшення здатності сприймання заряду свинцевим акумулятором**

У міру збільшення глибини заряду АБ концентрація активної речовини біля решітки всередині батареї починає знижуватися, що є одним з факторів, який призводить до зниження здатності сприймання заряду. Ця концентрація збільшується в міру віддалення від пластин. Якщо невеликий імпульсний розряд застосовується відразу ж після кожного зарядного імпульсу, диференціал концентрації намагатиметься змінитися на протилежний. Ця реакція частково відновлює концентрацію активних речовин, покращуючи тим самим здатність сприймання заряду від наступного прикладеного імпульсу струму.

Величина розрядного імпульсу в рамках експерименту складала не більше 20% від початкового струму, з тривалістю імпульсного розряду близько 8% від тривалості зарядного імпульсу. Коли глибина заряду батареї невелика, позитивний зарядний імпульс діє протягом 570 мсек, а згаданий розрядний імпульс існує протягом решти періоду. У міру збільшення

глибини заряду батареї контролер обмежує ширину імпульсу (заряду і розряду), зберігаючи при цьому тривалість розряду на рівні 8% від тривалості імпульсу заряду.

Час включення імпульсу струму і переданий акумулятору заряд показані на рис.1.9. Час включення імпульсу і глибина заряду при заряджанні змінним зарядним імпульсом з розрядом. Швидкість заряду як і раніше велика і знижується, коли напруга батареї починає впливати на тривалість імпульсу. Але на діаграмі видно одну з переваг цього методу заряду: немає нестійкого періоду перемикачів поблизу вигину кривої графіка часу включення імпульсу, який виникав при відсутності додаткового імпульсу розряду.

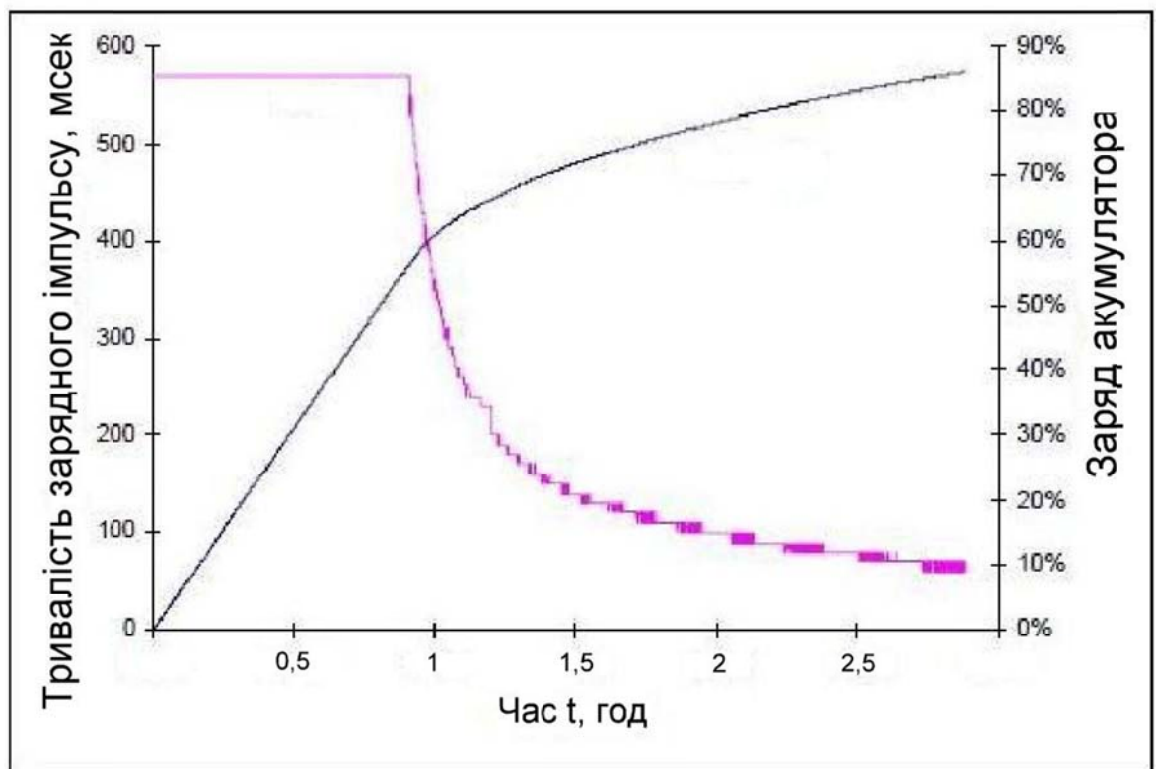


Рис. 1.9 Час включення імпульсу і глибина заряду при заряджанні змінним зарядним імпульсом з розрядом

Також видно, здатність накопичувати заряд покращилася, оскільки батарея досягає 80% глибини заряду так само швидко, як і при попередньому

імпульсному методі без розряду (незважаючи на зниження середньої величини струму).

Рис 1.10 (а) показує відносну швидкість заряду методом імпульсного та імпульсно асиметричного струму після приблизно 50% глибини заряду батареї, в той час як на малюнку 1.10 (б). Відносні швидкості заряду: (а) імпульсним та імпульсним асиметричним струмом, (б) імпульсним та постійним струмом. Ці швидкості заряду порівнюються з зарядом за допомогою традиційного підходу.

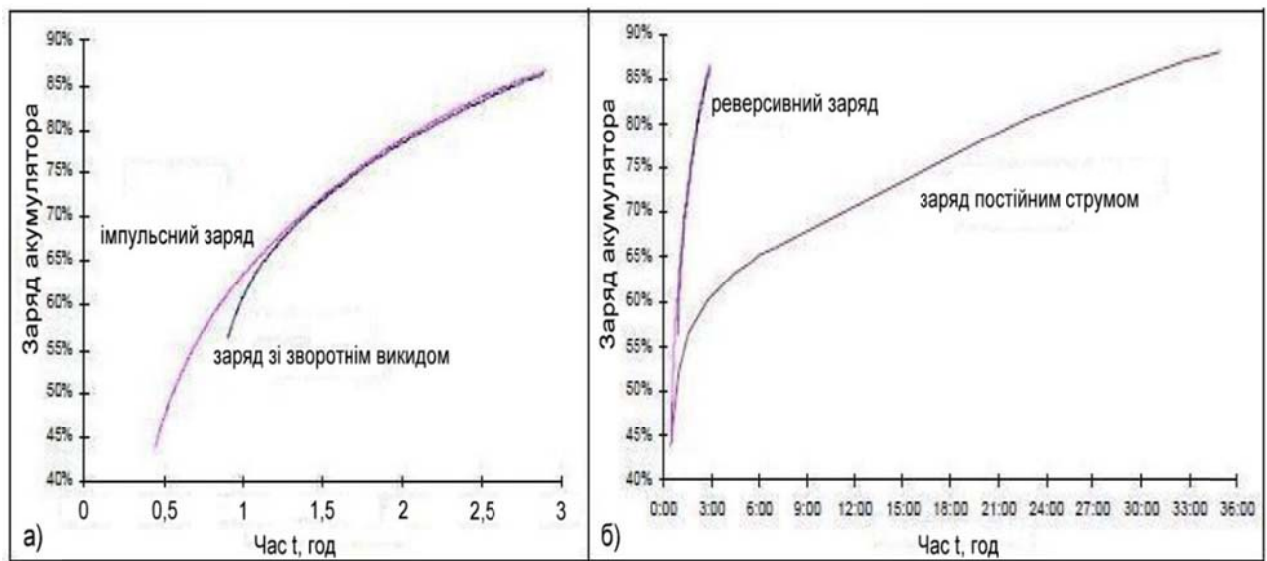


Рис. 1.10 Відносна швидкість заряду методом імпульсного та імпульсно асиметричного струму

Як уже зазначалося, явною перевагою є те, що незважаючи на меншу швидкість заряду через наявність додаткового розрядного імпульсу, 70% глибини заряду досягається за той же час, що вказує на поліпшення здатності накопичення заряду (рис.1.10 (а) ). З іншого боку, на рис.1.10 (б) видно явну перевагу імпульсного заряду в порівнянні з традиційними методами.

Рис 1.11 ілюструє вплив, який чиниться додаванням цього розрядного імпульсу на напругу на клеммах досліджуваного акумулятора. Як показано, з додаванням розрядного імпульсу (рис. 1.11 (а) ) АБ знаходиться в стані, коли



вона готова прийняти новий імпульс струму раніше, ніж при звичайному імпульсному заряді (рис. 1.11 (а) ).

Форми напруги і струму (а) без додавання розрядного імпульсу, (б) з додаванням розрядного імпульсу (вертикальні шкали: 0,5 В/поділку, 2 А/поділку, горизонтальна шкала 0,2 сек /поділку). Це означає, що наступний зарядний імпульс може поступати раніше, в результаті чого досягається більш висока швидкість заряду.

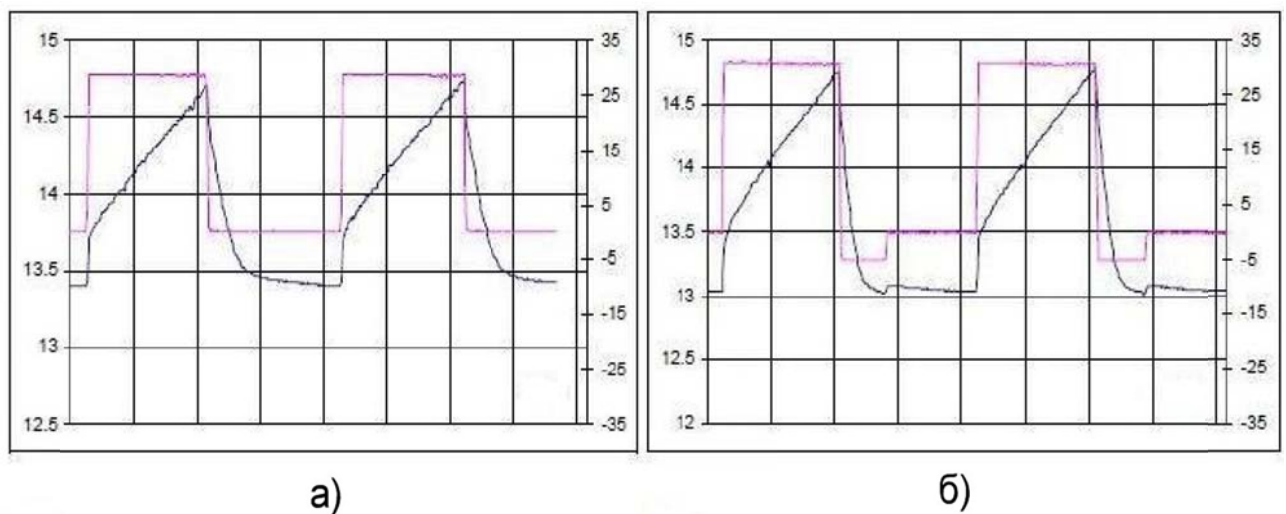


Рис. 1.11 Вплив, при додаванні розрядного імпульсу на напругу на клеммах досліджуваного акумулятора

Отже, в розробленому для перевірки переваг імпульсного заряду прототипі, який здатний генерувати великі імпульси струму для заряду та/або розряду акумулятора, були отримані результати, що свідчать про переваги цього методу заряду перед зарядом постійним струмом/напругою. А саме: в запропонованому підході до імпульсного заряду зі змінною шириною імпульсу, контрольованою напругою зворотного зв'язку з батареї значно покращилась швидкість заряду за межами області постійного струму (близько 50% глибини заряду батареї). Крім того, виявилось, що даний спосіб усуває газоутворення на високих рівнях зарядженості, і робить це без необхідності в додаткових датчиках.



Хоча метод імпульсного зарядку значно зменшує час заряду протягом періоду, що відповідає глибині заряду акумулятора від 50% до 80%, решта 20% заряджаються як і раніше відносно повільно. Але це поліпшення важливо, тому що це робоча область АБ яка вимагає частішої підзарядки при нагоді. Включення імпульсного розряду дає поліпшення ефективності заряду без зниження зарядного часу, незважаючи на нижче середнє значення зарядного струму. Значне поліпшення часу заряду в порівнянні із звичайними методами було помічено в обох методах із застосуванням змінних імпульсів, що дає потенціал для значного поліпшення характеристик застосування не тільки свинцево-кислотних акумуляторів.

## Висновки до розділу 1

1. Проведений аналіз акумуляторних батарей показав, що через масовість та значну зміну ємності під час використання для проведення експерименту доцільно обрати свинцево-кислотні та нікель-кадмієві акумулятори.

2. Показано, що доцільно обрати два методи заряду: постійним струмом та імпульсним асиметричним. Постійний метод заряду доцільно обрати через масовість використання, а імпульсний асиметричний – через те, що він перевершує за якісними показниками інші і дозволяє збільшити термін служби батареї в 1,5–3 рази.

3. Проведений огляд схем пристроїв заряду акумуляторних батарей імпульсним асиметричним струмом показав, що доцільно обрати для розробки пристрою схему, в якій використовується спосіб заряду зі збереженням енергії імпульсу розрядного струму в накопичувальному реактивному елементі (накопичувальному конденсаторі) з наступною передачею накопиченої енергії розрядного імпульсу назад до акумулятора.

4. Необхідно спроектувати схему зарядного пристрою та виготовити пристрій, за допомогою якої можна проводити експерименти із заряду акумуляторів як постійним струмом, так і імпульсним асиметричним.

## **РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАРЯДУ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ ІМПУЛЬСНИМ АСИМЕТРИЧНИМ СТРУМОМ**

### **2.1 Розробка структурної схеми експериментального зарядного пристрою**

Експериментальна установка (рис. 2.1) складається з наступних функціональних елементів:

ДЖ – джерело живлення зарядного пристрою;

ШПП – широтно-імпульсний перетворювач;

ДС – датчик струму зарядного пристрою;

ДН – датчик напруги зарядного пристрою;

АБ – акумуляторна батарея;

НК – накопичувальний конденсатор;

МСК – мікропроцесорна система керування;

ПК – персональний комп'ютер.

Розглянемо роботу установки за структурною схемою.

Джерело живлення (ДЖ) являє собою перетворювач, який перетворює напругу та струм мережі живлення до стабілізованого значення напруги та струму на виході відповідно 18В і 10А. Електроенергія від ДЖ надходить на вхід зарядного пристрою [19]. На вході стоїть широтно-імпульсний перетворювач (ШПП1) понижуючого типу, який забезпечує електроенергію в задані параметри, необхідні для заряду акумуляторної батареї (АБ). З ШПП1 енергія поступає в АБ через датчик струму (ДС), який необхідний для підрахунку Ампер\*год, відданих АБ та контролю струму заряду. Датчик напруги на АБ (ДН1) призначений для контролю напруги на АБ. ШПП1 формує зарядний імпульс. В моменти часу між зарядними імпульсами енергія від АБ надходить до підвищуючого широтно-імпульсного перетворювача (ШПП2).

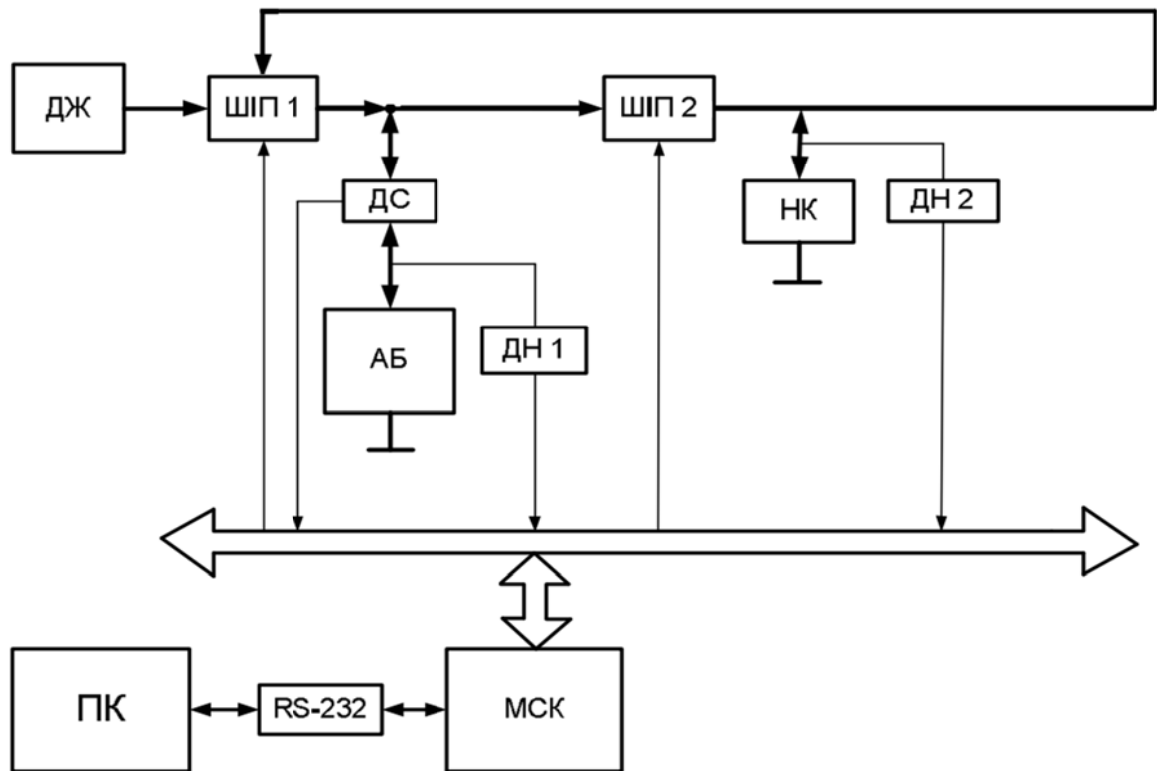


Рис. 2.1 Структурна схема експериментальної установки для дослідження заряду  
акумуляторної батареї імпульсним асиметричним струмом

ШП2 формує розрядний імпульс, енергія якого накопичується в накопичувальному конденсаторі (НК). Датчик напруги на НК (ДН2) призначений для контролю за напругою на конденсаторі. В моменти, коли напруга на НК досягає певного значення, він розряджається через понижуючий широтно-імпульсний перетворювач (ШП1). Енергія, накоплена на НК поступає на вхід АБ. Збір інформації з датчиків, обробка даних та керування зарядним пристроєм виконується мікропроцесорною системою керування (МСК).

### Задачі, які повинна виконувати МСК:

- керування ШІП згідно заданому алгоритму;
- контроль за струмом зарядного імпульсу;
- контроль за струмом розрядного імпульсу;
- контроль за напругою на АБ;

- контроль за напругою на НК.

Персональний комп'ютер (ПК) виконує функції реєстрації та відображення інформації. Обмін даними з мікропроцесорною системою керування відбувається за допомогою інтерфейсу RS-232 [20].

В Додатку А зображена схема електрична принципова силової частини експериментальної установки.

Силова схема містить два ШППа. Перший – понижуючого типу на елементах VT1, VD1, L1, E<sub>АБ</sub>, формує зарядний імпульс. Другий ШПП – підвищуючого типу на елементах L2, VT2, VD2, С<sub>нак.</sub>, формує розрядний імпульс, енергія якого зберігається у накопичувальному конденсаторі С<sub>нак.</sub>. При досягненні на накопичувальному конденсаторі С<sub>нак.</sub> визначеної напруги його потрібно розрядити на АБ. Розряд накопичувального конденсатора проводиться першим ШПП понижуючого під час формування зарядного імпульсу [21].

В Додатку Б зображена схема електрична принципова системи керування зарядним пристроєм.

Система керування побудована на мікроконтролері U1 і виконує функції контролю та керування зарядним пристроєм. В даній розробці будемо використовувати мікроконтролер сімейства AVR фірми Atmel Xmega32a4au. Система керування підтримує на акумуляторі необхідні параметри заряду, виконує алгоритм заряду імпульсним асиметричним струмом та керує процесом заряду в цілому. Інформація з датчиків струму та напруг надходить до портів вводу PA3, PA4, PA5, PA6. Мікроконтролер має внутрішній аналогово-цифровий перетворювач, який перетворює вхідні сигнали в двійкові коди. Для обробки сигналів в мікропроцесорній системі керування використовується зовнішнє джерело опорної напруги U3. Мікроконтролер обробляє отримані дані згідно з занесеної до пам'яті програми і виробляє відповідні керуючі сигнали, які через порти керування силовим драйвером uln2003 з портів контролера PC1, PC2.

З виходу мікроконтролера керуючі сигнали надходять до драйверів силових ключів. Драйвери використовуються для посилення вихідних керуючих сигналів і узгодження вихідної логіки мікропроцесорної системи керування і силовими ключами.

З персональним комп'ютером обмін інформацією відбувається за допомогою інтерфейсу RS-232, який реалізується на мікросхемі узгоджувача рівнів DD3. Напругу живлення для мікросхем отримуємо від основного джерела живлення за допомогою мікросхеми лінійного стабілізатора U3.

Головною функцією редактору схем є перетворення графічного зображення електричної схеми в текстовий формат та збереження результату в файл.

Програма розрахунку електричних схем читає файл схеми, проводить розрахунки та створює файл результату, який містить масив значень напруги та струму в залежності від часу.

Програми візуалізації розрахунків зчитує результати та відображає їх на екрані монітору в графічному вигляді або у вигляді числа, в залежності від типу даних.

В персональному комп'ютері отримана з датчиків інформація передається в файл результату, який містить масив значень струму в залежності від часу. А спеціальна програма візуалізації розрахунків зчитує результати та відображає їх на екрані монітору в графічному вигляді або у вигляді числа, в залежності від типу даних.

## 2.2 Принцип роботи пристрою для заряду акумуляторних батарей імпульсно асиметричним струмом

Розглянемо роботу основних вузлів пристрою за схемою електричною принциповою. В табл. 2.1. приведено режими роботи силових ключів.

Таблиця 2.1

Режими роботи силових ключів

Струм Ключ	Постійний	Імпульсний		Імпульсно асиметричний	
		Рест період	Період заряду	Період заряду	Період заряду
VT1	ШПІ	Закритий	ШПІ	Закритий	ШПІ
VT2	Закритий	Закритий	Закритий	ШПІ	Закритий

Автоматичний скид мікроконтролера виконується шляхом підключення входу RESET через опір R11 до напруги живлення. Одразу після скиду завантажується програма роботи мікроконтролера. Сигнали з датчиків напруги і струму надходять до портів PA3, PA4, PA5, PA6. Після обробки даних мікроконтролером виробляються сигнали керування силовими ключами. З виходу керуючих портів PC1, PC2 сигнали керування надходять на зовнішні драйвера, які виконані на драйвері силових ключей ULN2003a. Завдяки опорам R19-R26 задається необхідний струм бази і напруга база-емітер підсилюючих транзисторів.

Мікроконтролер живиться напругою +3.3В, яка формується мікросхемою лінійного стабілізатора DD4 від зовнішнього джерела живлення +18.

В початковий момент часу всі силові ключі закриті, крім VT1, який працює в режимі ШПІ. Стабілізована напруга мережі (E) надходить на вхід

понижуючого ШПП на елементах VT1, VD1, L1, E<sub>AB</sub>, який формує імпульс зарядного струму необхідної амплітуди. Значення амплітуди зарядного струму і напруги з акумуляторної батареї знімаються за допомогою датчиків струму, в якості якого взято резистор 0.1Ом і напруги, реалізованого за допомогою опірної ділянки  $R_4, R_5$ . Зняті данні надходять до портів PA3, PA4, PA5, PA6 які пов'язані з внутрішнім аналого-цифровим перетворювачем мікро контролера. Після перетворення отриманих сигналів у двійковий код, вони порівнюються з даними, які записані у пам'яті мікроконтролера. Для отримання опорної напруги використовується зовнішнє джерело опорної напруги, виконане на мікросхемі TL431 і опорах R16, R17.

Після порівняння мікроконтролер, якщо існують розбіжності між отриманими даними і записаними, виробляє керуючі сигнали і підтримує на акумуляторній батареї необхідні значення струму і напруги.

В проміжках між зарядними імпульсами формується розрядний імпульс акумуляторної батареї. VT3 працює в режимі ШПП. Інші силові ключі закриті. ШПП на елементах L2, VT3, VD2, Снак, формується імпульс розрядного струму, енергія якого зберігається на накопичувальному конденсаторі Снак.. Розрядний струм поступово заряджає накопичувальний конденсатор. Для контролю за розрядним струмом і напругою на конденсаторі використовуються датчики струму і напруги.

При досягненні необхідної напруги на накопичувальному конденсаторі мікро контролер виробляє відповідні керуючі імпульси і силові ключі\ а ключ VT1 працює в режимі ШПП. В цей момент часу накопичувальний конденсатор використовується як джерело напруги разом з основним (E) у ШПП понижуючого типу на елементах VT4, VD1, L1, E<sub>AB</sub>, який формує імпульс зарядного струму. Розрядивши накопичувальний конденсатор до зазначеної напруги для формування імпульсу зарядного струму знову використовується основне джерело напруги (E), а накопичувальний



конденсатор знову заряджається до необхідної напруги під час формування розрядних імпульсів [19].

### 2.3 Розрахунок та вибір елементів схеми електричної принципової

Основними об'єктами досліджень будуть Pb, SLA акумулятори серійного виробництва. Вибір як об'єктів дослідження серійних виробів обумовлений рядом міркувань.

По-перше - усяка серійна продукція, що випускає в масовому масштабі фірмами з гарною репутацією у високій степені стандартизована.

По-друге - вироби, що випускають серійно, є продуктом ретельної оптимізації, виконаної виробником при їхній розробці. Це дає підставу вважати, що будь-які ефекти підвищення експлуатаційних характеристик акумуляторів, що спостерігаються при використанні розроблювального пристрою, обумовлені саме режимом і способом заряду, а не якими-небудь випадковими факторами [22].

Оберемо для розрахунку досліджуваної схеми наступні параметри:

- |   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| - вихідна напруга джерела живлення          | $E=18\text{В};$                   |
| - вихідний струм джерела живлення           | $I_S=10\text{А};$                 |
| - зарядний струм акумуляторної батареї      | $I_{\text{зар}}=0-10\text{А};$    |
| - розрядний струм акумуляторної батареї     | $I_{\text{роз}}=5\text{А};$       |
| - максимальна зарядна напруга               | $E_{\text{зар. max}}=17\text{В};$ |
| - мінімальна зарядна напруга                | $E_{\text{роз.}}=16\text{В};$     |
| - частота широтно-імпульсного перетворювача | $f = 40 \cdot 10^3 \text{ Гц};$   |
| - період зарядно/розрядних імпульсів        | $T=10 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$   |

Знайдемо номінальне значення зарядної напруги акумуляторної батареї Pb, SLA акумуляторів :

$$E_{zar} = \frac{I}{T_{SHIP}} \int_0^{t_0} E dt = E \frac{t_0}{T_{SHIP}} = E B.$$

Напруга на акумуляторній батареї може змінюватися на значення:  $\pm E_{zar}$

$$\Delta E_{zar} = E_{zar \max} - E_{zar} = 16 - 13 = 3 \text{ В.}$$

Згідно з заданими параметрами джерела живлення візьмемо орієнтовно коефіцієнт пульсацій вихідної напруги  $\delta U = 0,125$ , тоді пульсації на виході будуть дорівнювати

$$\Delta E = E * \delta U = 18 * 0,125 = 2,25 \text{ В.}$$

Значення коефіцієнта корисної дії (ККД) джерела живлення приймемо рівним  $\eta = 0,9$ .

Розрахуємо елементи VT1, VD1, VD<sub>Z</sub>, L1, понижуючого ШІП.

На вхід перетворювача надходить струм  $I_{zar} = 1.4 \text{ А}$ . З урахуванням цього обираємо силовий ключ VT1 і діод VD1 з необхідними параметрами. При виборі силових ключів для пристрою виходимо з тих міркувань, що в MOSFET-транзисторах (Metal-Oxide-Semiconductor-Field-Effect-Transistor) низьке значення напруги у включеному стані при номінальних напругах менше 200 В. В якості силового ключа VT1 обираємо Р-канальний польовий МДП-транзистор IRF9540 фірми International Rectifier. Основні параметри транзистора наведені в табл. 2.2 [21].

Таблиця 2.2

Основні параметри транзистора IRF9540

Максимальний струм витік-стік	23 А
Максимальна зворотна напруга	100 В
Опір транзистора у відкритому стані	0,117 Ом

Потрібно пам'ятати, що в MOSFET-транзисторах паралельно транзистору технологічно вбудований зворотній діод і тому, щоб енергія від

аккумуляторної батареї не передавалася назад в джерело, після нього ставимо захисний діод  $VD_Z$  Шоттки MBR1045 фірми FAIRCHILD semiconductor. Параметри діода наведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Основні параметри діода MBR1045

Максимальний прямий струм	10 A
Максимальна зворотна напруга	45 B
Падіння напруги у відкритому стані	0,56 B

В якості діода  $VD1$  обираємо діод Шоттки MBR1045 фірми FAIRCHILD semiconductor.

Номінальне значення напруги на аккумуляторній батареї можна записати як:

$$E_{zar} = \frac{1}{T_{SHIP}} \int_0^{t_0} E dt = E \frac{t_0}{T_{SHIP}} = E * \gamma_{pon.SHIP},$$

де  $\gamma_{pon.SHIP}$  - коефіцієнт заповнення імпульсів понижуючого ШПП;

$T_{SHIP}$  - період роботи широтно-імпульсного перетворювача.

З урахуванням втрат на елементах силової частини джерела живлення знайдемо номінальне значення відносного часу відкритого стану  $\gamma_{pon.SHIP}$  силового транзистора VT1 для першого ШПП понижуючого типу:

$$\gamma_{pon.SHIP} = \frac{E_{zar}}{\eta \times E} = \frac{13}{0,9 \times 18} = 1,142.$$

Дросель  $L1$  входить до складу ШПП понижуючого типу, згідно з методикою викладеною в [13] маємо наступний вираз для його розрахунку:

$$L_{min} = \frac{E \times \gamma_{pon.SHIP} \times (1 - \gamma_{pon.SHIP})}{2 \times I_{zar \max} \times f} = \frac{13 \times 0,142 \times (1 - 0,142)}{2 \times 1,4 \times 40 \times 10^3} = 19,6 \times 10^{-6} \text{ Гн.}$$

Для забезпечення умови безперервності струму в навантаженні повинна виконуватись умова  $L1 > L_{min}$ . Тобто візьмемо  $L1 = 47 \text{ мкГн.}$

Розрахуємо датчики напруги і струму.

Для контролювання необхідної величини зарядного чи розрядного струму включаємо послідовно з акумуляторною батареєю датчик струму фірми Allegro ACS712. У табл. 2.4. приведено призначення виводів обраної мікросхеми.

Таблиця 2.4

Призначення виводів мікросхеми ACS712

Назва виводу	Номер виводу	Призначення
IP+	1,2	Вхід для вимірюваного зарядного струму
IP-	3,4	Вихід для вимірюваного зарядного струму
GND	5	Корпус
FILTER	6	Фільтр
VIOUT	7	Показує вихідний струм
VCC	8	Живлення пристрою

Щоб отримувати значення напруги на акумуляторній батареї ставимо датчик напруги, який виконано на ділянці напруги  $R_4, R_5$ . Визначимо значення цих резисторів. На акумуляторній батареї потрібно підтримувати напругу заряду 18В, діапазон змін напруги знаходиться в межах від 16В до 21В. Зробимо припущення що максимальна напруга, яка буде зніматися з ділянки напруги дорівнює  $U_{R_4 R_5 \max} = 22\text{В.}$ , отримуємо сумарне значення опору ділянки напруги рівним

$$R_{\Sigma} = \frac{U_{R_4 R_5 \max}}{I_{R_4 R_5}}.$$

Задамося значенням струму, який протікатиме через ділянку  $I_{R_4 R_5} = 2\text{мА}$ . Підставляючи вихідні дані отримуємо значення сумарного опору:

$$R_{\Sigma} = \frac{U_{R_4 R_5 \max}}{I_{R_4 R_5}} = \frac{22}{2} = 11 \text{ Ом}.$$

З огляду на те, що опорна напруга на вході АЦП мікроконтролера дорівнює 5В маємо:  $R_5 = \frac{5B}{2A} = 2,5 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = R_{\Sigma} - R_5 = 11 - 2,5 = 8,5 \text{ кОм}$ .

Щоб отримувати значення напруги на накопичувальному конденсаторі ставимо датчик напруги, який виконано на ділянці напруги  $R_8, R_9$ . Визначимо значення цих резисторів. Конденсатор заряджається до значення напруги 11В, розряджають його до напруги 7В. Зробимо припущення що максимальна напруга, яка буде зніматися з ділянки напруги дорівнює  $U_{C_{nak} \max} = 20\text{В}$ . Опорна напруга на вході АЦП мікроконтролера дорівнює 5В, Задамося значенням струму, який протікатиме через ділянку  $I_{R_8 R_9} = 2\text{мА}$  отримуємо сумарне значення опору ділянки напруги рівним

$$R_{\Sigma} = \frac{U_{C_{nak} \max}}{I_{R_8 R_9}}.$$

Підставляючи вихідні дані отримуємо значення сумарного опору:

$$R_{\Sigma} = \frac{U_{C_{nak} \max}}{I_{R_8 R_9}} = \frac{20}{2 * 10^{-3}} = 10 * 10^3 \text{ Ом}.$$

Так як на вході АЦП максимальна напруга дорівнює 5В, то з опору  $R_9$  максимально можна зняти 5В. Тобто  $R_9 = \frac{5B}{0,002A} = 2500 \text{ Ом}$ . Тоді

$$R_8 = R_{\Sigma} - R_9 = 6,5 - 2,5 = 4 \text{ кОм}.$$

Розрахуємо елементи VT2, VT3, VD2, VD3, L2, Снак підвищуючого ШП.

Транзистор VT2, який використовується для підключення АБ до підвищуючого ШП на елементах L2, VT3, VD2, VD3, Снак, повинен витримувати за вихідними даними розрядний струм 200 мА. Відповідно до цього критерію обираємо N-канальний MOSFET-транзистор транзистор IRF3415 фірми International Rectifier.

До складу підвищуючого ШПІ входить дросель  $L2$ , згідно з методикою розрахунку приведена в [13], маємо:

$$L_{\min} = \frac{(U_{\text{cnak.max}} - U_{\text{ab.nom}})(1 - \gamma_{\text{pov.SHIP}})^2 T_{\text{SHIP}}}{\gamma_{\text{pov.SHIP}} \cdot I_{\text{roz}}}$$

де  $U_{\text{Cnak.max}}$  - максимальна напруга до якої буде заряджатися накопичувальний конденсатор  $U_{\text{Cnak.max}} \approx E + 20\%$ ;

$\gamma_{\text{pov.SHIP}}$  - коефіцієнт заповнення імпульсами силового транзистора VT3 для другого ШПІ підвищуючого типу;

$T_{\text{SHIP}}$  - період роботи широтно-імпульсного перетворювача.

Звичайно для розрахунку коефіцієнту заповнення імпульсного циклу підвищуючого ШПІ користуються формулою:

$$\gamma = \frac{U_H - U_{\text{ex.}}}{U_H};$$

де  $U_H$  – напруга на навантаженні, а  $U_{\text{вх.}}$  – напруга живлення.

Для нашого випадку маємо

$$\gamma_{\text{pov.SHIP}} = \frac{(U_{\text{cnak.max}} - E_{\text{zar}})}{U_{\text{cnak.max}}} = \frac{20 - 18,5}{20} = 0,1.$$

Знаходимо величину дроселя  $L2$ :

$$\Delta E = E \cdot \delta U = 18 \cdot 0,125 = 2,25 \text{ В}.$$

Для забезпечення умови безперервності струму в навантаженні повинна виконуватись умова  $L2 > L_{\min}$ . Тобто візьмемо  $L2 = 300 \text{ мкГн}$

Для попередньої оцінки величини ємності накопичувального конденсатора скористаємося спрощеною формулою приведеною в [16]:

$$C_{\text{nak}} \approx \frac{I_{\text{zar}} \cdot t}{U_{\text{cnak.max}} - U_{\text{cnak.min}}} \cdot \gamma_{\text{pov.SHIP}} = \frac{I_{\text{zar}} \cdot t}{U_{\text{cnak.max}} - U_{\text{cnak.min}}} \cdot \frac{E_{\text{zar}}}{\frac{(U_{\text{cnak.max}} + U_{\text{cnak.min}})}{2}},$$

де  $I_{\text{zar.}}$  – величина струму зарядного імпульсу;  $t$  – час заряду АБ від накопичувального конденсатора, який рекомендується обирати не більшим

тривалості імпульсу зарядного струму;  $U_{Cnak.max}$  – максимальна напруга, до якої буде заряджатися накопичувальний конденсатор:  $U_{Cnak.max} \approx E + 20\%$ ;  $U_{Cnak.min}$  – мінімальна напруга, до якої буде розряджатися накопичувальний конденсатор:  $U_{Cnak.min} \approx E - 20\%$ ;  $E$  – напруга мережі живлення;  $\gamma_{pon.SHIP}$  – коефіцієнт заповнення імпульсного циклу понижуючого ШПП на елементах VT4, VD1, L1,  $E_{AB}$ ;  $E_{AB}^*$  – напруга на AB при її заряді.

Для  $t$  повинна виконуватись нерівність  $t < t_{zarimp}$ . Виходячи з наших вихідних даних:

$$t_{zarimp} = T \cdot 1/3 = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 1/3 = 3,33 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Де  $T$  - період зарядно/розрядних імпульсів.

Тобто візьмемо  $t = 3 \cdot 10^{-3} \text{ с}$

Знайдемо  $U_{Cnak.max}$  та  $U_{Cnak.min}$ :

$$U_{Cnak.min} \approx E - 20\% = 16\text{В}, \quad U_{Cnak.max} \approx E + 20\% = 20\text{В}.$$

Звідси знаходимо:

$$C_{nak} \approx \frac{I_{zar} \cdot t}{U_{cnak.max} - U_{cnak.min}} \cdot \frac{E_{zar}}{\frac{(U_{cnak.max} + U_{cnak.min})}{2}} = \frac{0,2 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{10,8 - 7,2} \cdot \frac{4,5}{9} 83 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

Оберемо ємність  $C_{nak} = 220 \mu\text{Ф}$ .

Транзистор VT3 за своїми параметрами повинен задовольняти вимогам, які накладаються на транзистор VT2.

Отже можемо обрати в якості транзистора VT3 транзистор IRF3414 фірми International Rectifier.

В якості діода VD2 обираємо діод Шоттки MBR1045 фірми FAIRCHILD semiconductor. Параметри діода наведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5

Основні параметри діода MBR1045

Максимальний прямий струм	10 А
Максимальна зворотна напруга	45 В
Падіння напруги у відкритому стані	0,56 В

Діод VD3 забезпечує розряд накопиченої енергії дроселя L2, яка залишається після закриття силових ключів VT2 і VT3. Обираємо діод MBR1045 фірми FAIRCHILD semiconductor

Розрахуємо елементи VT4, VD<sub>Z</sub> понижуючого ШПП.

При досягненні потрібної напруги на накопичувальному конденсаторі, його потрібно розрядити. Для цього використовується силовий ключ VT4. Через відповідний транзистор протікає зарядний струм 2А. Отже обираємо в якості VT4 польовий МДП-транзистор транзистор Р-канального типу IRF9540 фірми International Rectifier. Транзистор має в своїй конструкції зворотній діод і для того, щоб накопичувальний конденсатор не заряджався від джерела живлення, після нього ставимо захисний діод VD<sub>Z</sub> Шотткі MBR1045 фірми FAIRCHILD semiconductor.

Розрахуємо елементи драйверів силових ключів

Для відкриття силових ключів використовуються драйвери, які складаються з опорів і транзисторів, працюючих в ключовому режимі. Розрахуємо значення опорів драйверів. Щоб ввімкнути силові транзистори будемо використовувати підсилюючі польові транзистори р типу IRLML2803 фірми International Rectifier. Основні параметри транзистора наведені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6

Основні параметри транзистора BC847C

Максимальний постійний струм колектора	1,2 А
Максимальна постійна напруга	30В
Опір транзистора у відкритому стані	0,25 Ом



Силові транзистори відкриваються при прикладенні певної напруги затвір-витік. Для цього використовуються опори  $R_1, R_2$  і  $R_6, R_7$ . З документації про мікроконтролер отримуємо значення вихідної напруги портів вводу/виводу:  $U_{OH} = 5$  В. Користуючись довідником знаходимо вольт-амперні характеристики транзистора IRLML2803.

Задамося тим, що нам необхідно отримати струм бази IRLML2803 1мА. Виходячи з цього візьмемо номінали резисторів  $R_{19}, R_{21}, R_{23}, R_{25}$  рівними 1кОм, а номінали резисторів  $R_{20}, R_{22}, R_{24}, R_{26}$  - 10кОм. Скориставшись ВАХ транзистора визначили струм  $I_K$ , який гарантовано буде заводити транзистор в ключовий режим і рівний 30мА. Для того, щоб відкрити транзистори VT1, VT2, VT3, VT4 необхідно подати на затвір-витік напругу близько 4,5В. Тобто опори  $R_1, R_2$  можна розрахувати за законом Ома:

$$R_1, R_2, R_6, R_7 = \frac{U_{CU}}{I_C} = \frac{5}{0,03} = 200 \text{ Ом.}$$

де  $U_{CU}$  - напруга на сток-виток переході транзистора IRLML2803;  $I_C$  - струм стоку.

Розрахуємо елементи системи керування

В якості мікро контролера системи керування обираємо мікроконтролер сімейства AVR фірми Atmel Atxmega32.

Виходячи з документації на обраний мікроконтролер частота його генератора дорівнює 7,3728 МГц. Мікросхема живиться від джерела живлення і споживає напругу 5В, струм 15мА. З огляду на базову розробку зарядного пристрою AVR450 обираємо значення наступних елементів:  $C2 = 100\text{нФ}$ ,  $C4, C5 = 22\text{пФ}$ ,  $C3 = 100\text{нФ}$ .

Опорна напруга формується паралельним стабілізатором L78MO5AB. У табл. 2.8. приведено основні характеристики обраного стабілізатора.

Таблиця 2.8

## Основні параметри стабілізатора L78MO5AB

Максимальна вхідна напруга	40 В
Вихідна напруга	3.3 В

Рівень напруги AREF встановлюється резисторами R16, R17. Щоб отримати опорну напругу на АЦП 5В значення резисторів візьмемо  $R16=10\text{КОм}$ ,  $R17=10\text{КОм}$ .

Для програмування мікро контролера використовуються порти PB3-PB5, PC6, GND, Vcc. З цією метою встановлюються зовнішні резистори R11-R14 з номіналами  $4,7\text{кОм}$  та зовнішній роз'єм для підключення програматора.

Значення зовнішніх навісних елементів та схему підключення беремо з документації на мікросхему.

Виводити отримані зарядно/розрядні дані пристрою на пристрій відображення будемо за допомогою віртуального осцилографа.

## Висновки до розділу 2

1. Для заряду акумуляторних батарей різної ємності та типу розроблено схему електричну принципову зарядного пристрою з можливістю контролювати струм та напругу та підтримкою різних способів заряду.

2. Розроблений пристрій працює через понижуючий широтно-імпульсний перетворювач і зменшує вхідний струм, який задається системою керування та користувачем, та поступає до акумулятора в залежності від типу заряду: при заряді постійним струмом енергія у акумулятор подається постійно до повного заряду акумуляторної батареї, при заряді імпульсним асиметричним струмом після того, як імпульс подали на акумулятор, користувач відслідковує перехідний процес та встановлює розмір зарядного імпульсу; після імпульсу заряду йде рест-період для того, щоб уникнути наскрізних струмів, після рест-періоду починає працювати широтно-імпульсний перетворювач підвищуючого типу, задачею якого є розрядити акумулятор на накопичувальний конденсатор. Енергія розряду рівна  $1/5$  імпульсу заряду. Після імпульсу розряду є рест-період, після якого йде імпульс заряду одразу за імпульсом розряду накопичувального конденсатора. Заряд акумулятора ведеться до повного заряду акумуляторної батареї [23].

3. Під час циклу заряду йде постійне відслідковування значень напруг та струмів на різних елементах, що дає змогу визначати час повного заряду акумулятора та надає змогу постійно підтримувати значення струму та контролювати час, за який акумулятор був заряджений та розряджений.

4. Після закінчення циклу заряду акумулятор підключається до резистивного опору. Під час розряду відслідковуються значення напруги та ємності акумуляторної батареї

## РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ПІДТВЕРДЖЕННЯ

### 3.1 Експериментальний зарядний пристрій

Для підтвердження працездатності та продуктивності запропонованого підходу був побудований і протестований прототип ЗП (рис. 3.1)

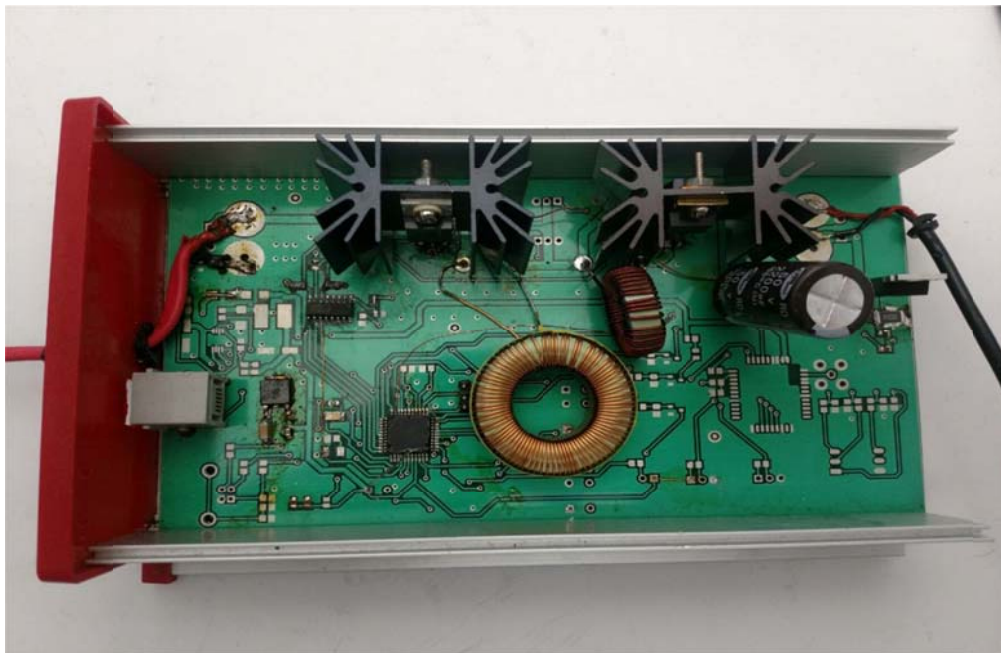


Рис. 3.1 Експериментальний ЗП

Вхідна напруга на ЗП 24В 10 А

Розробка пристрою робилось за допомогою програми DipTrace. Трасування верхнього шару показано на рис. 3.2. Трасування нижнього шару показано на рис. 3.3.

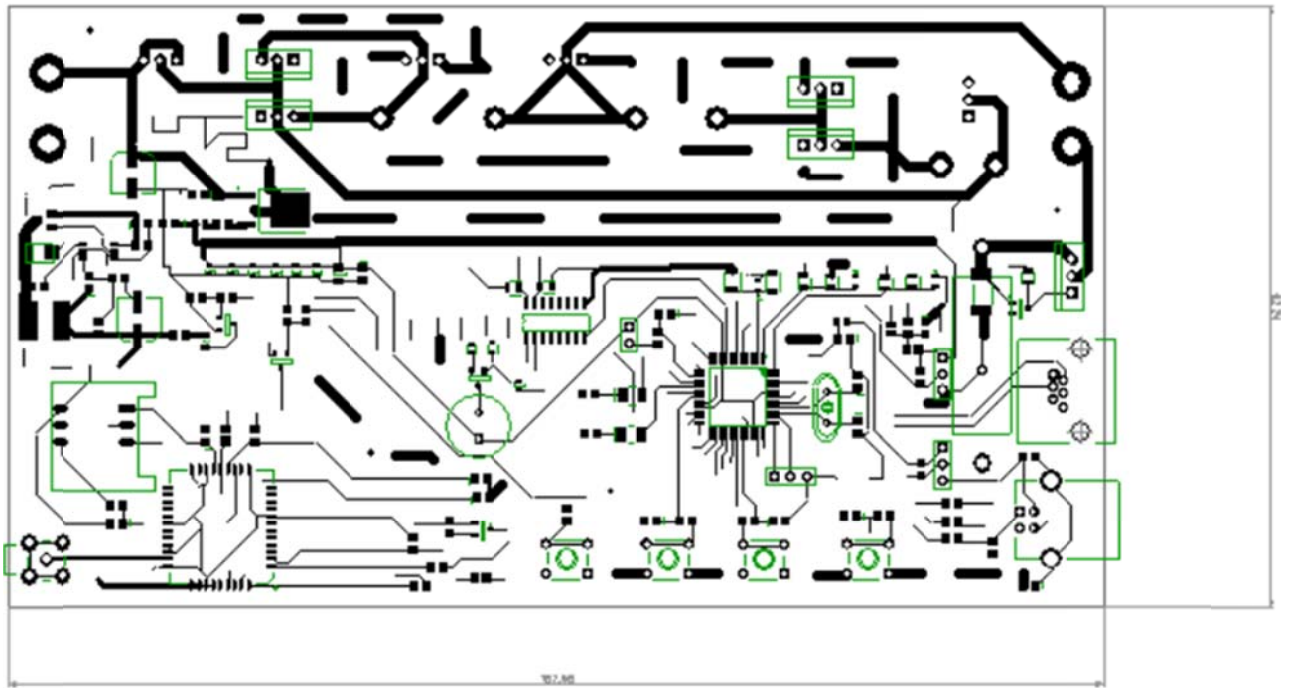


Рис. 3.2 Верхній шар плати

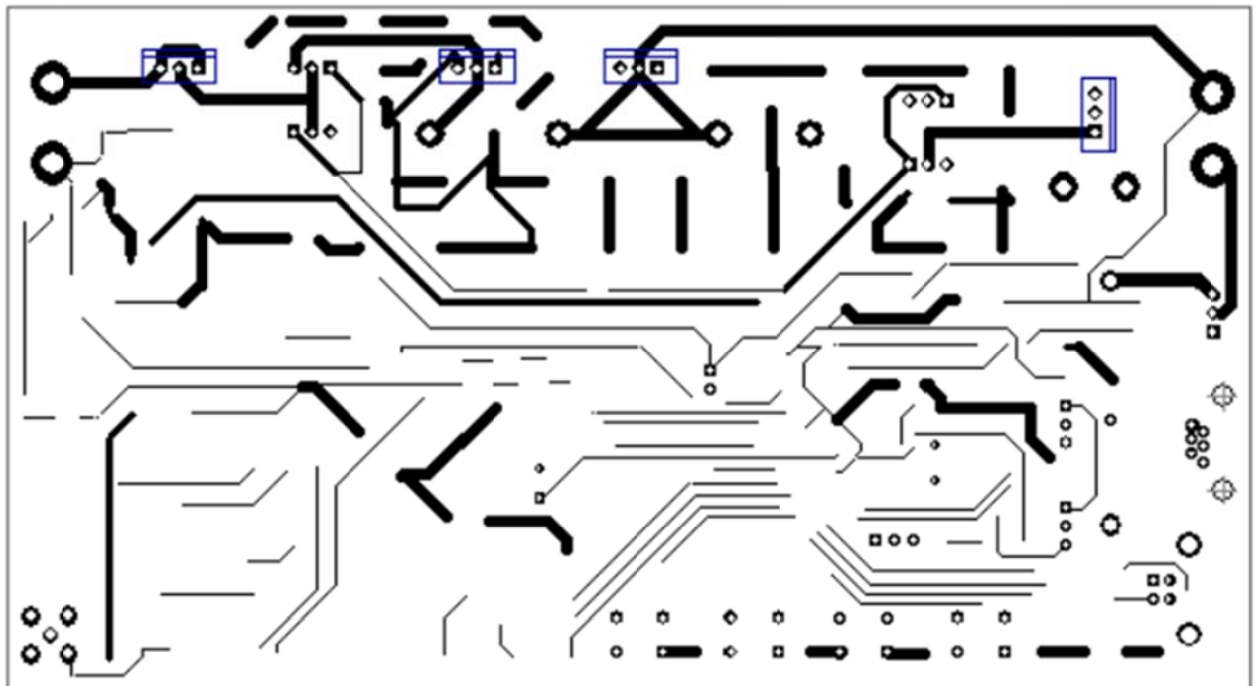


Рис. 3.3 Нижній шар плати

### 3.2 Дослідження зміни ємності в акумуляторах

По осцилограмам, які наведені нижче, визначаємо параметри зарядних процесів та заносимо їх в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Параметри зарядних процесів в акумуляторах

Тип акумуляторної батареї	Параметри					
	тривалість імпульсу заряду, $t_{имп}$ , мс	тривалість імпульсу розряду, $t_{имп}$ , мс	період, $T$ , мс	тривалість переднього фронту, $\tau_{нф}$ , мс	тривалість заднього фронту, $\tau_{зф}$ , нс	тривалість розрядного перехідного процесу, $t_{н.л.р}$ , нс
SLA	6	1,2	9 (рис. 3.5)	2 (рис. 3.6)	600 (рис. 3.7)	620 (рис. 3.8)
Ni-Cd	5	1	8 (рис. 3.10)	1.5 (рис. 3.11)	400 (рис. 3.12)	450 (рис. 3.13)

На основі отриманих результатів після робочих циклів з вибраними акумуляторами були зафіксовані зміни у значенні фактичної ємності акумуляторів, що заряджалися імпульсним асиметричним методом [24].

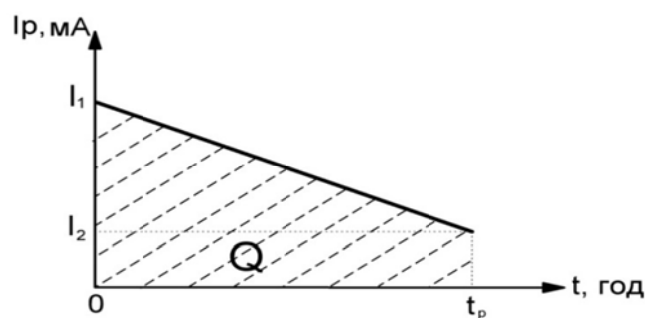


Рис 3.4 Схематична залежність струму акумулятора від часу при роботі на навантаження

Розраховуємо потужність, яка споживалася при заряді імпульсним струмом, за формулою:

$$P_{im} = I_3 \cdot U_3; \quad (3.1)$$

де  $I_3, U_3$  - діючі значення зарядного струму та напруги на акумуляторі

$$I_3 = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{t_1} i^2(t) dt + 0}; \quad (3.2)$$

де  $t_1$  – момент закінчення імпульсу струму.

$$I_{zSLA} = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot 10^{-3}} \int_0^{0,19 \cdot 10^{-3}} 0,7^2(t) dt} = 0,63 A.$$

$$I_{zSLA} = \sqrt{\frac{1}{0,4 \cdot 10^{-3}} \int_0^{0,2 \cdot 10^{-3}} 0,7^2(t) dt} = 1,19 A.$$

$$U_3 = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}; \quad (3.3)$$

$$U_{zSLA} = \sqrt{\frac{1}{0,41 \cdot 10^{-3}} \int_0^{0,19 \cdot 10^{-3}} 1,35^2(t) dt} = 11,92 B$$

$$U_{zSLA} = \sqrt{\frac{1}{0,4 \cdot 10^{-3}} \int_0^{0,2 \cdot 10^{-3}} 1,95^2(t) dt} = 16,38 B$$

Для порівняння в додатку В та Додатку Г представленні значення ємності під час експериментів кожного з акумуляторів, та їх фактична ємність, яка була розрахована експериментально [20].

Для обчислення її значення по формулі (3.1) визначимо значення діючого струму розряду  $I_c$ . Як відомо, в загальному випадку залежність струму, який віддає акумулятор у навантаження від часу має вигляд, представлений на рис. 3.3, а заряд  $Q$ , який передається в навантаження графічно є площею під розрядною прямою.

Як видно з рисунка, значення фактичної ємності  $Q_{\text{факт}}$ , яку віддає акумулятор, чисельна буде дорівнювати площі фігури під розрядною прямою.

### 3.3 Експеримент над SLA

Для свинцевого акумулятора 7 А\*год було досягнуті імпульси в розмірі 5А 18В струм розряду 5А (рис. 3.5) [25].

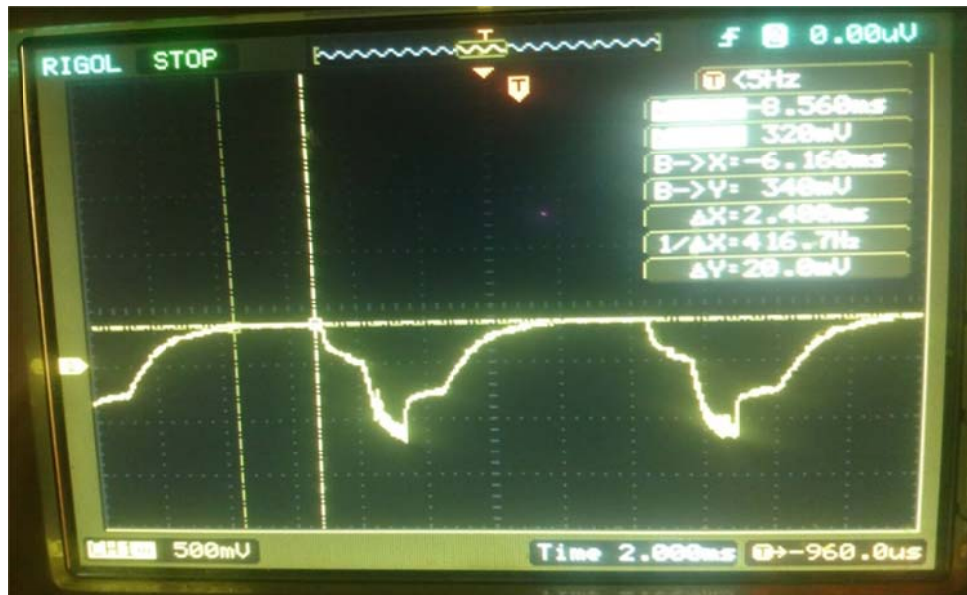


Рис. 3.5 Осцилограма заряду SLA

При даних імпульсах були проведені досліді по заряду АБ і знята залежність зміни напруги повного заряду акумулятора і часу, за яке акумулятор зарядився.

Свинцеві акумулятори 7 А\*год розряджалися на резистивне навантаження 150м зі струмом  $\sim 0.8\text{A}$ .

Так само були проведені цикли заряду/розрядку іншого свинцево-кислотного акумулятора 7 А\*год постійним струмом. Зарядний струм 1А, а розряд проводився на резистивне навантаження 150м зі струмом  $\sim 0.8\text{A}$  [26].

Під час розряду і заряду проводилися контрольні вимірювання напруги, струмів, часу. Отримані дані в ході експериментів наведені в додатку В.

В результаті експериментів були отримані наступні осцилограми: зарядна напруга на SLA акумуляторі – рис. 3.5,



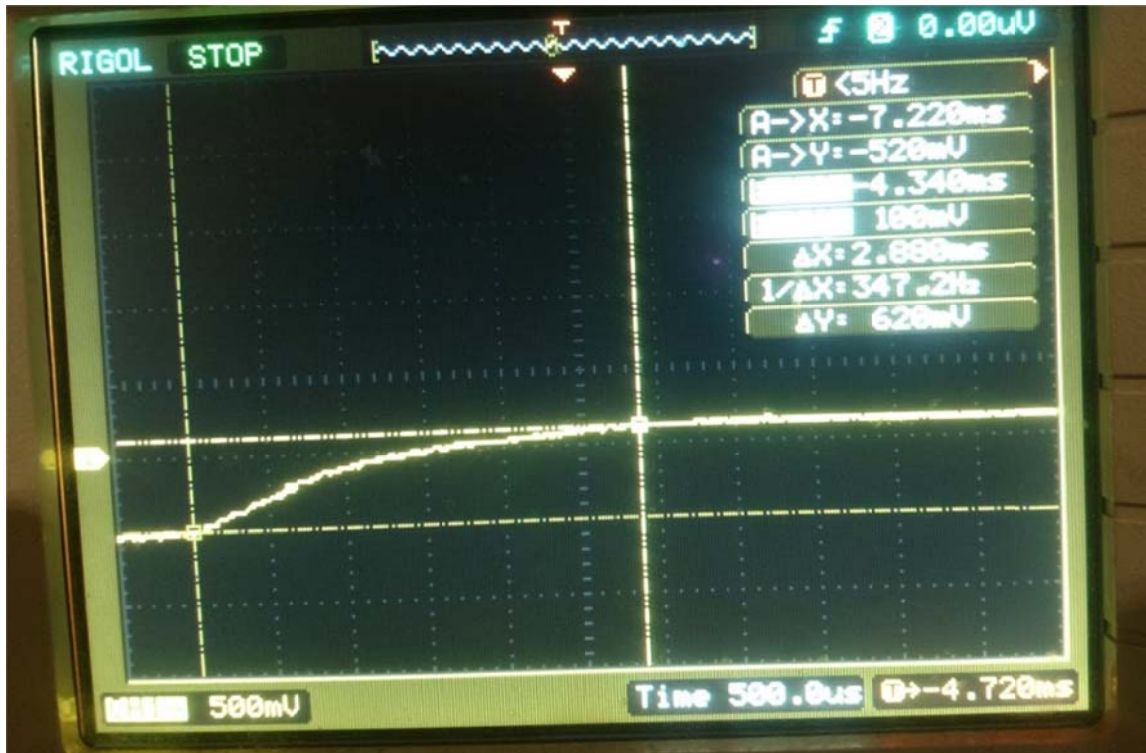


Рис. 3.6 Передній фронт

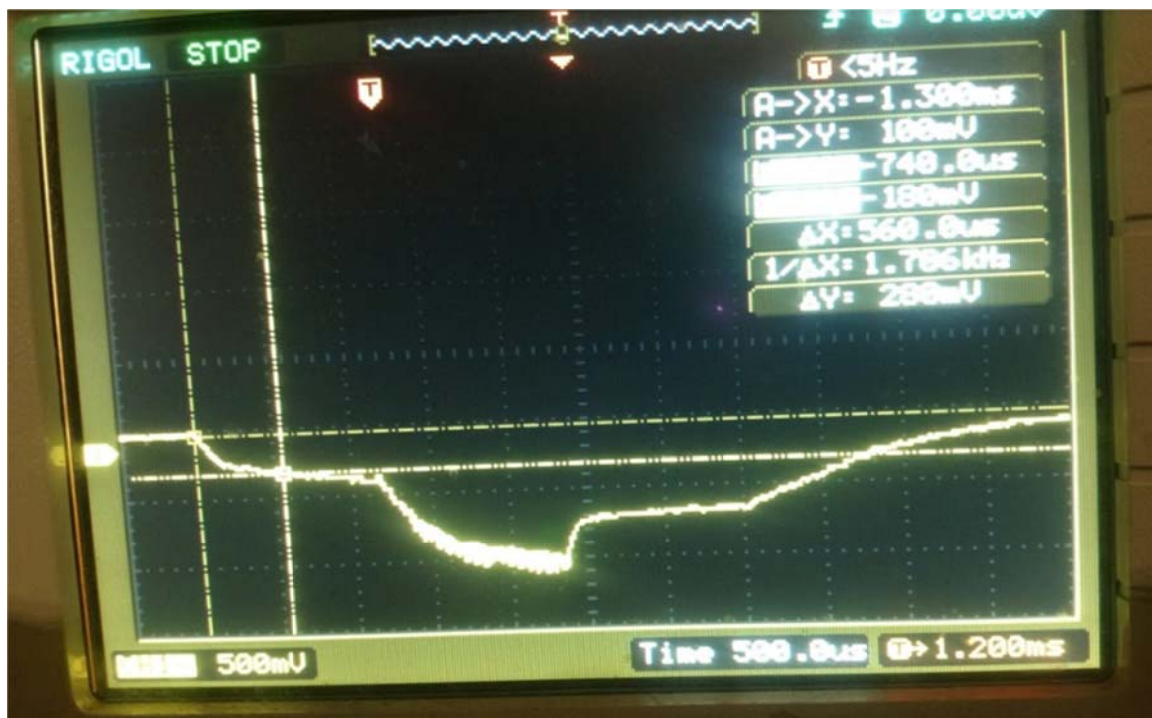


Рис. 3.7 – Задній фронт

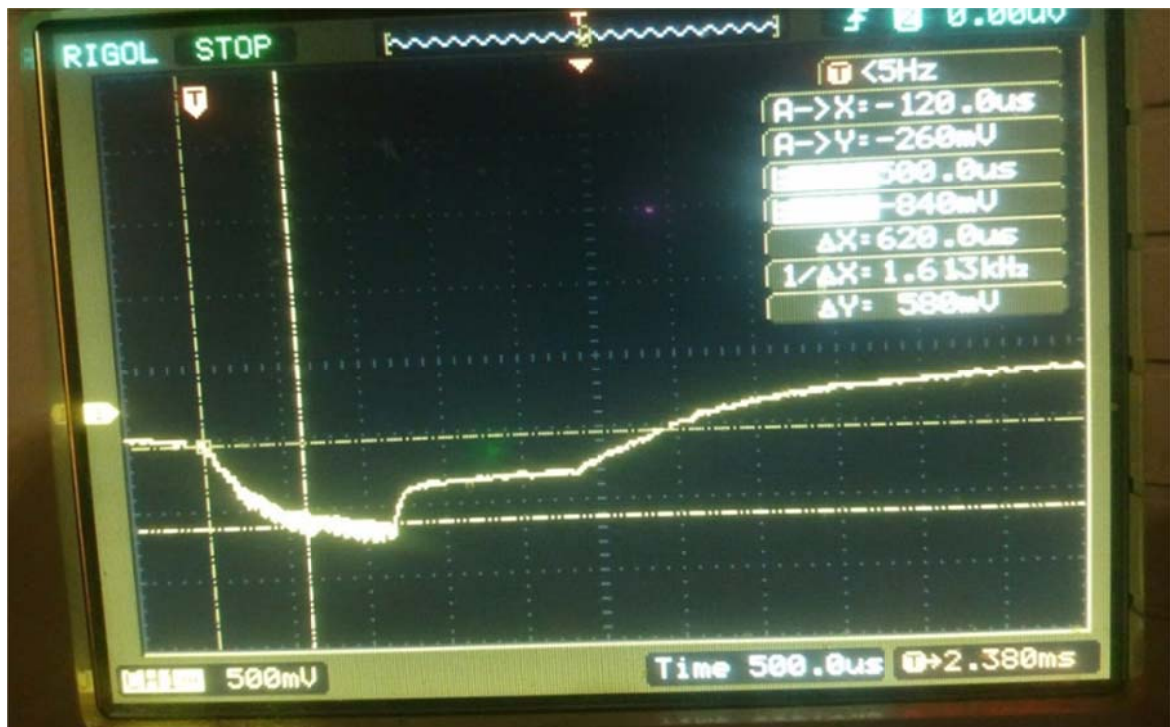


Рис. 3.8 Перехідний процес при розрядному імпульсі

В результаті заряду імпульсним асиметричним струмом із заданими параметрами, які було обрано на основі проведеного експерименту в залежності від внутрішнього опору акумулятора, проведено спостереження за такими перехідними характеристиками акумулятора, як:

- перехідний процес в імпульсі заряду – рис. 3.6, який становив 2мс;
- перехідний процес після закінчення імпульсу заряду рис. 3.7, який становив 600 нс;
- перехідний процес під час імпульсу розряду рис. 3.8, який становив 620 нс

За цими характерними ознакам акумуляторної батареї можна досліджувати внутрішню ємність акумуляторної батареї, внутрішній опір, залежності струму заряду/розряду.

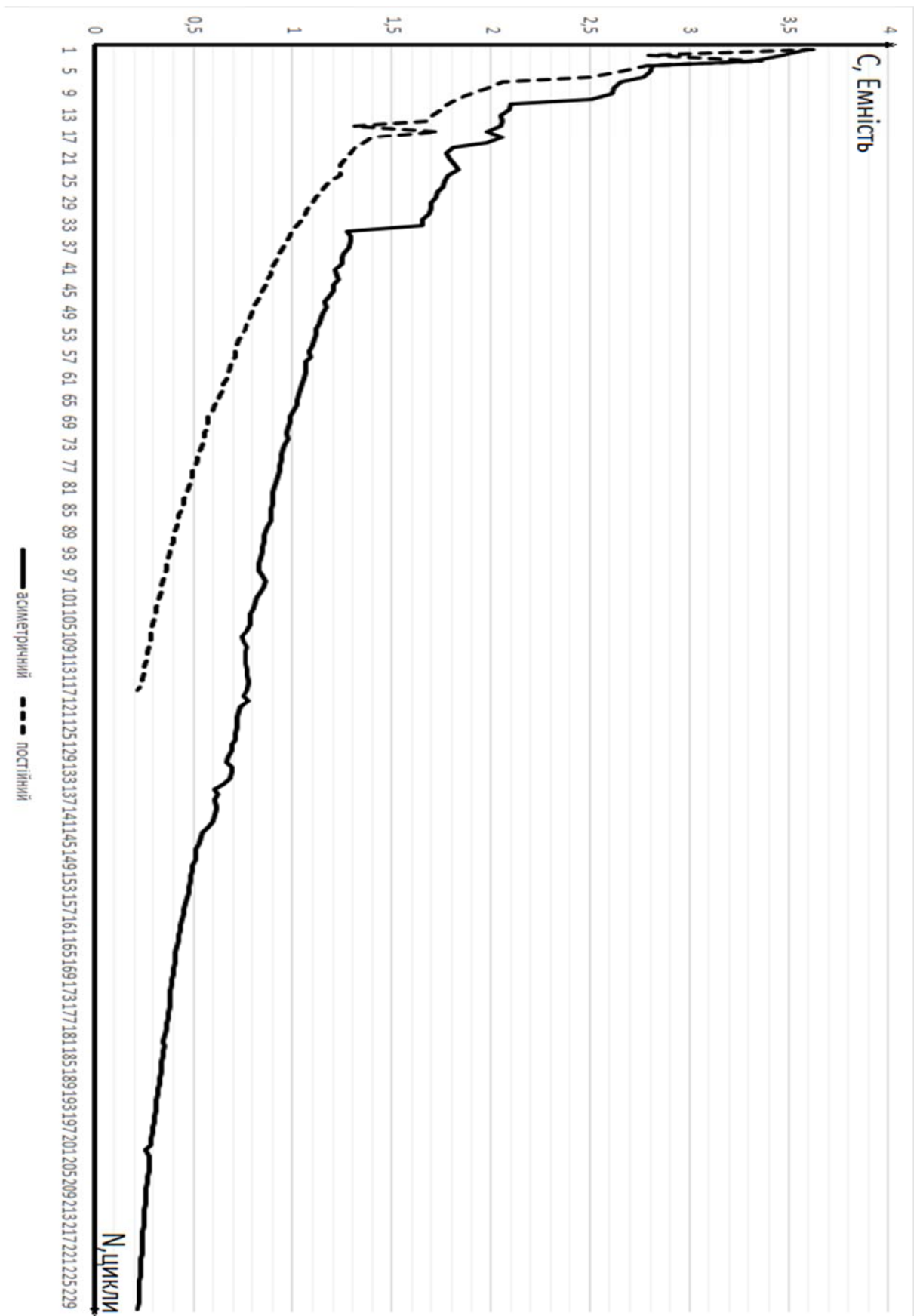


Рис. 3.9 Графік змін часу розрядки PbSLA акумуляторів

### 3.4 Експеримент на Ni-Cd

Для свинцевого акумулятора 7 А\*год було досягнуті імпульси в розмірі 1А 2В імпульс розряду 1,2А (рис. 3.9) [27].

При даних імпульсах були проведені досліді по заряду АБ і знята залежність зміни напруги повного заряду акумулятора і часу, за яке акумулятор зарядився.

Свинцеві акумулятори 7 А\*год розряджалися на резистивне навантаження 15Ом зі струмом  $\sim 0.8\text{A}$ .

Так само були проведені цикли заряду розрядки іншого свинцево-кислотного акумулятора 7 А\*год постійним струмом. Зарядний струм 1А, а розряд проводився на резистивне навантаження 15Ом зі струмом  $\sim 0.8\text{A}$  [28].

Під час розряду і заряду проводилися контрольні вимірювання напруги, струмів, часу. Отримані дані в ході експериментів наведені в додатку Г.

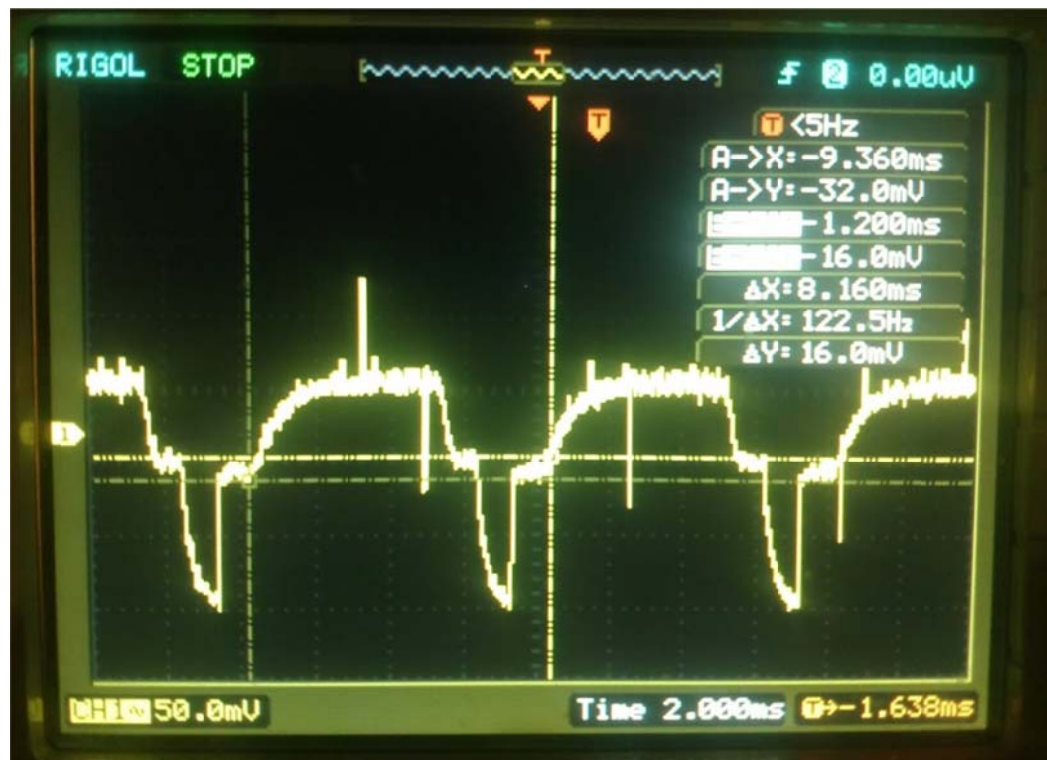


Рис. 3.10 Осцилограма заряду Ni-Cd





Рис. 3.11 Передній фронт

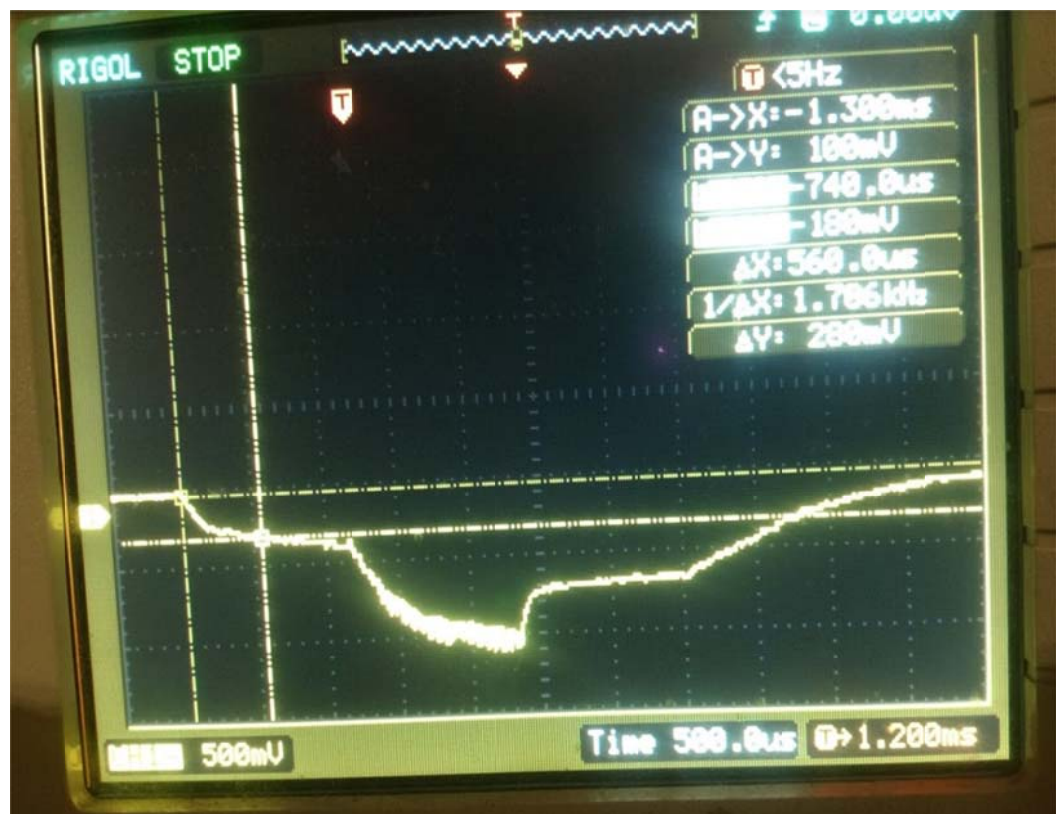


Рис. 3.12 – Задній фронт

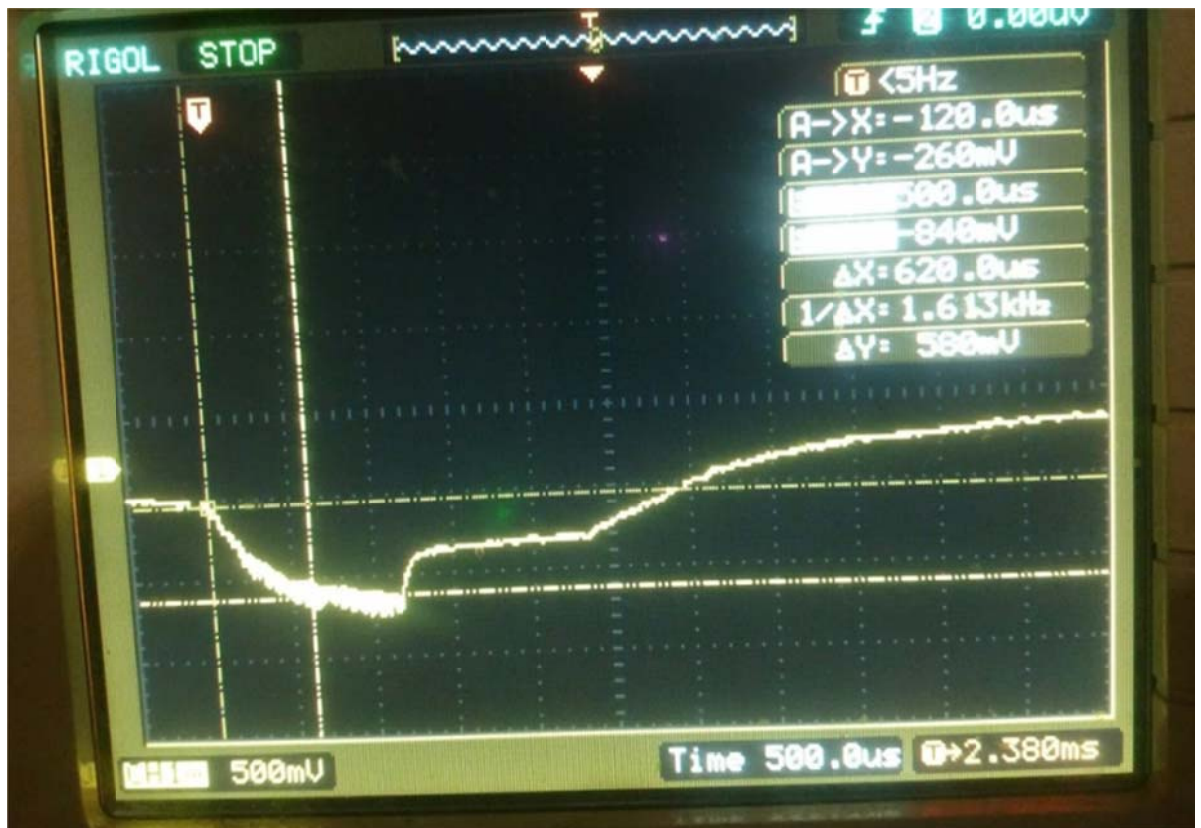


Рис. 3.13 –Перехідного процесу розрядного імпульсу

В результаті заряду асиметрично імпульсним струмом заданими параметрами, які були вибрані експериментально в залежності від внутрішнього опору акумулятора. Було спостереження за такими перехідними характеристиками акумулятора як:

- Перехідний процес в імпульсі заряду – рис. 3.11, який становив 1.5мс;
- Перехідний процес після закінчення імпульсу заряду рис. 3.12, який становив 400 нс;
- Перехідний процес під час імпульсу розряду рис. 3.13, який становив 450 нс

По цим характерним ознакам акумуляторної батареї можна досліджувати внутрішню ємність акумуляторної батареї, внутрішній опір, залежності струму заряду/розряду.

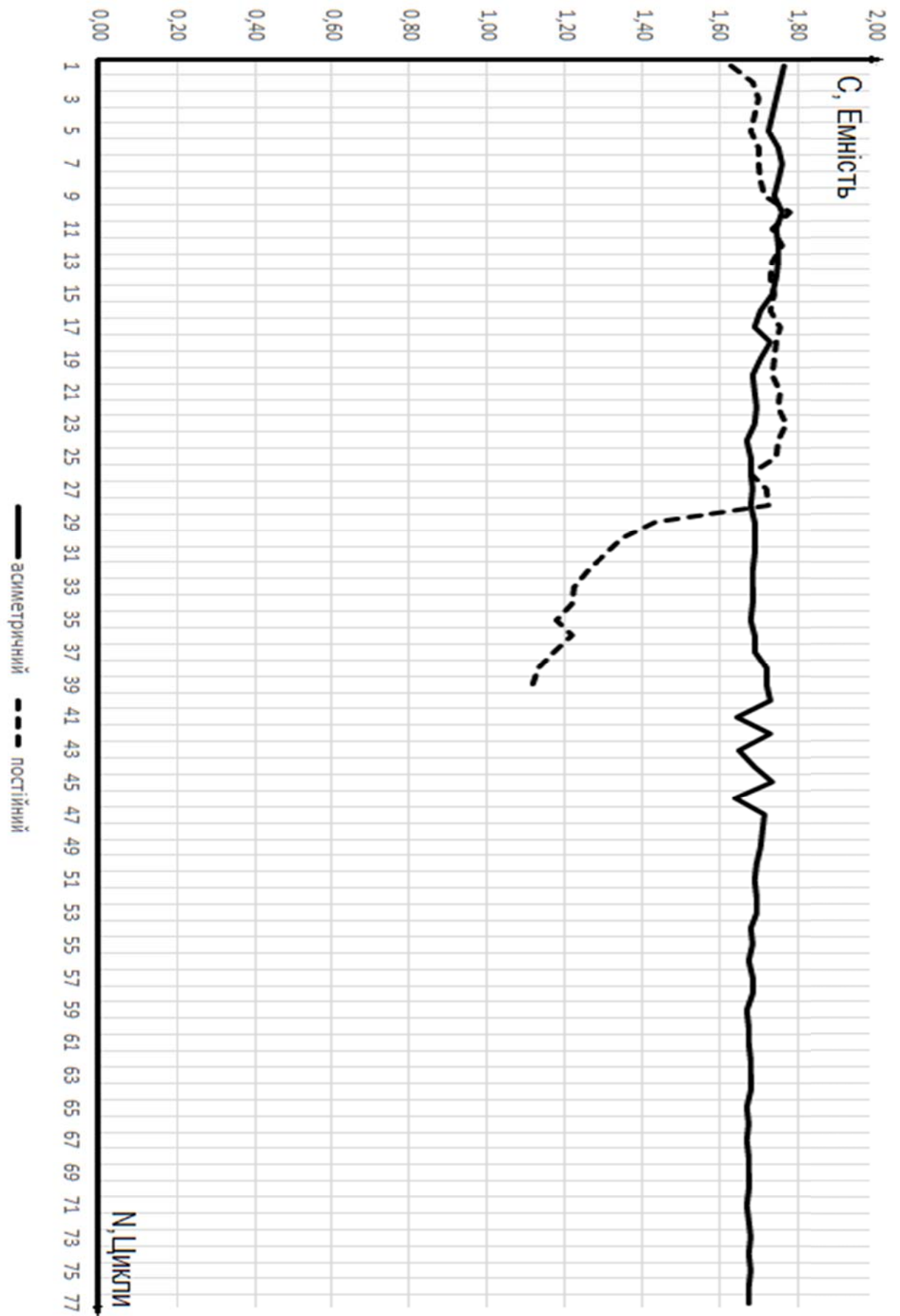


Рис. 3.14– Графік змін часу розрядки Ni-Cd акумуляторів

### Висновки до розділу 3

1. Розроблено пристрій для заряду/розряду акумуляторних батарей різної ємності та типу з можливістю контролювати струм та напругу та підтримкою різних способів заряду.

2. При заряді постійним струмом в пристрої працює лише через широтно-імпульсний перетворювач понижуючого типу та відслідковується напруга та струм для контролю ступеня заряду/розряду акумуляторної батареї.

3. При заряді імпульсним асиметричним струмом пристрій відслідковує час імпульсу заряду та розряду, струм, що подавався на акумулятор, та напругу в релаксаційних періодах для відстеження ступеня заряду/розряду акумуляторної батареї.

4. Експеримент проводився на двох акумуляторах SLA та двох акумуляторах Ni-Cd, характеристики яких наведено у розділі 3.4 [29]. Один SLA акумулятор заряджався постійним струмом, інший акумулятор – імпульсним асиметричним [30]. Обидва акумулятора розряджались на резистивне навантаження в 15 Ом. Також один Ni-Cd акумулятор заряджався постійним струмом, інший – імпульсним асиметричним. Обидва акумулятора розряджались на резистивне навантаження в 1 Ом.

5. Під час експериментального дослідження було розглянуто перехідні процеси в різних акумуляторах, зміна напруги та струму під час заряду/розряду [31].

6. Розглянуто відмінності між ємністю при заряді імпульсним асиметричним струмом та постійним, а саме за даними, отриманими у результаті експерименту (див. Додатки В та Г), доведено, що при заряді імпульсним асиметричним струмом зменшення ємності відбувається майже в 2 рази повільніше, ніж при заряді постійним струмом [32].

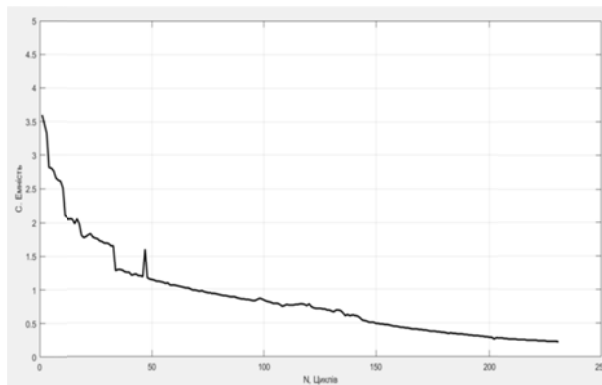


## РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ ТРИВАЛОСТІ ЖИТТЯ АКУМУЛЯТОРІВ НА ОСНОВІ ДАНИХ, ОТРИМАНИХ НА ПОЧАТКОВИХ ЦИКЛАХ ЗАРЯДУ/РОЗРЯДУ

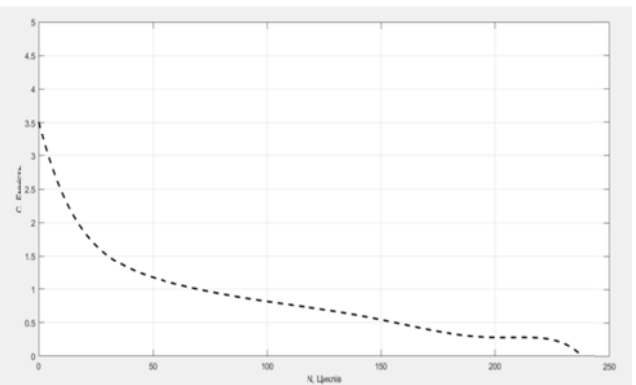
### 4.1 Апроксимація експериментальних даних

З даних, які знаходяться в Додатку В були розраховані та проксимовані експериментальні дані, за допомогою комп'ютерних програм системи Matlab [33].

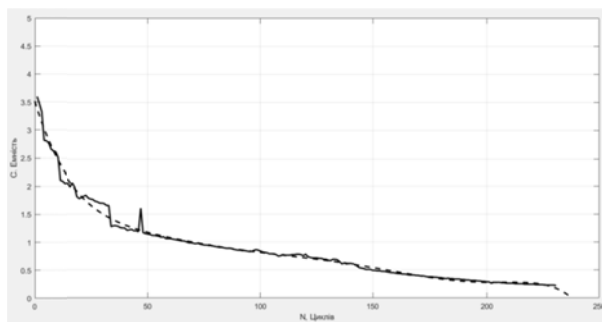
Після проведення циклів заряду/розряду акумуляторних батарей [34] було виведено графік зміни ємності при заряду імпульсним асиметричним та постійним струмом що наведено на рис 4.1 (а) 4.2 (а).



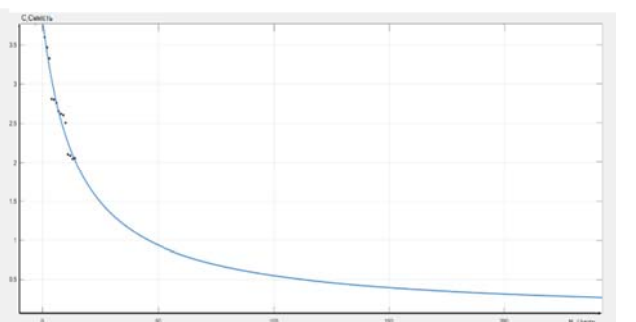
а)



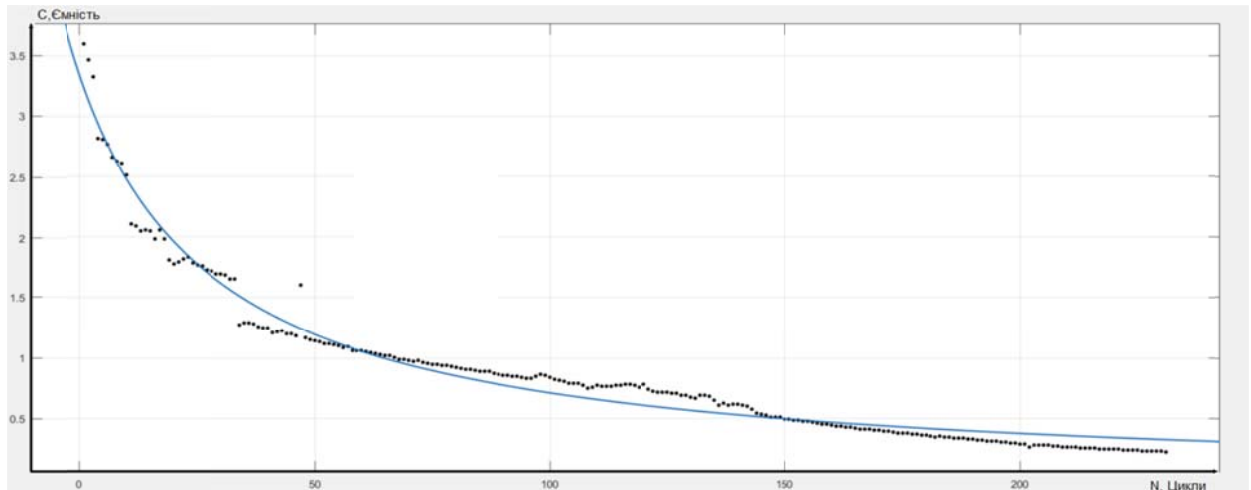
б)



в)



г)



д)

Рис. 4.1 Графік зміни ємності в залежності від циклу (а), апроксимований графік зміни ємності на основі експериментальних даних(б), накладена апроксимований графік на графік зміни ємності (в), промодельований графік за 14-ю точками(г), накладена розрахована графік зміни ємності за 14-ю точками та експериментальна зміна(д).

Експериментальні дані було апроксимовано рис 4.2 (б) та виведено функцію апроксимації:

$y(x) = -0,0454x + 2,424$  для імпульсного асиметричного заряду та

$y(x) = -0,02151x + 2,36481$  для постійного струму.

Накладення апроксимованої функції на експериментальні дані показано на рис 4.1(в), 4.2(в).

## 4.2 Прогнозування зміни ємності акумуляторної батареї

За допомогою отриманих функцій експериментальних даних було виведено формулу екстраполяції для постійного та імпульсно асиметричного струму[35].

За допомогою раціональних моделей

$$y = \frac{\sum_{i=1}^{n+1} p_i x^{(n+1-i)}}{x^m + \sum_{i=1}^{n+1} q_i x^{(m-i)}},$$

де  $n$  - ступінь чисельного поліноме та  $0 \leq n \leq 5$ , а  $m$  - ступінь знаменника і  $1 \leq m \leq 5$ . Зверніть увагу, що коефіцієнт, пов'язаний з  $x^m$ , завжди становить 1. Це робить чисельник і знаменник унікальним, коли поліноми ступенів однакові.

$$y = \frac{p_1 x^2 + p_2 x + p_3}{x^3 + q_1 x^2 + q_2 x + q_3}.$$

Як поліноми, раціональні часто використовуються, коли потрібна проста емпірична модель. Основною перевагою раціоналів є їх гнучкість з даними, що мають складну структуру. Основний недолік полягає в тому, що вони стають нестабільними, коли знаменник становить близько 0.

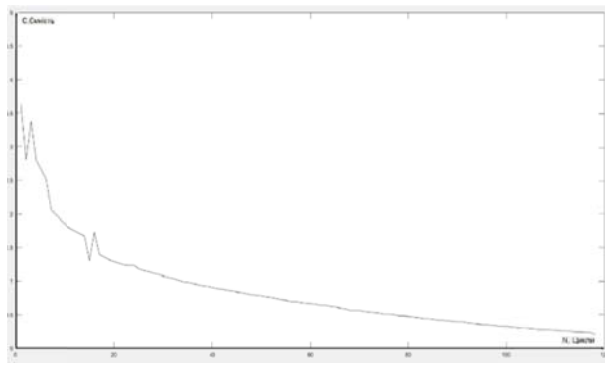
У посібнику [11] раціональність описується в термінах ступеня чисельника / ступеня знаменника. Наприклад, квадратичне / кубічне раціональне рівняння дається формулою

Раціональні моделі визначаються як співвідношення многочленів і даються

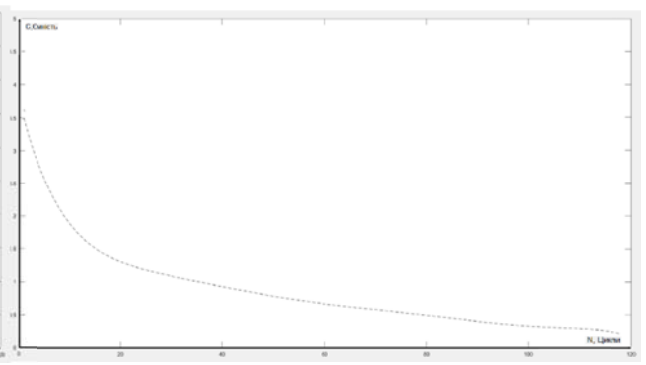
$$y = \frac{p_1 x + p_2}{x + q_1}.$$

За допомогою якого було побудовано графік зміни напруги по 14-ти точках для імпульсно асиметричного та постійного струму рис 4.1(г), 4.2(г).

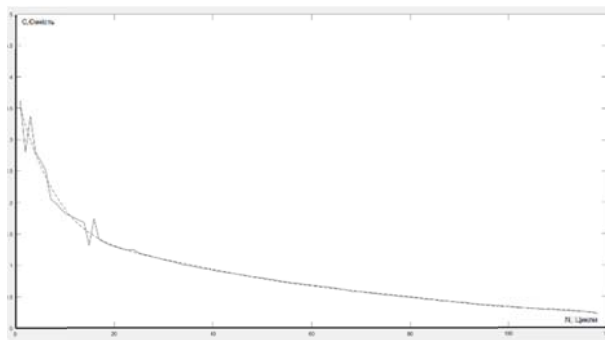
Після побудови графіку було накладено промодельований графік на експериментальні дані що видно на рис 4.1 (д), 4.2(д).



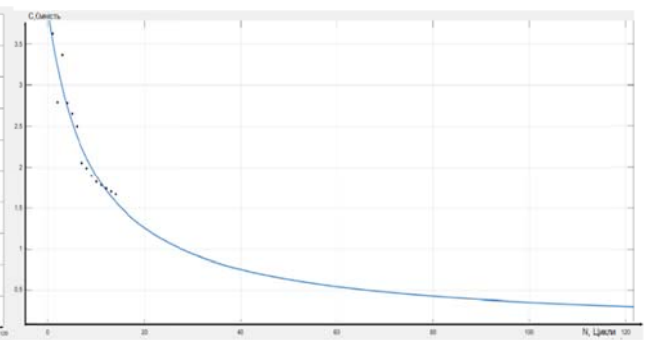
а)



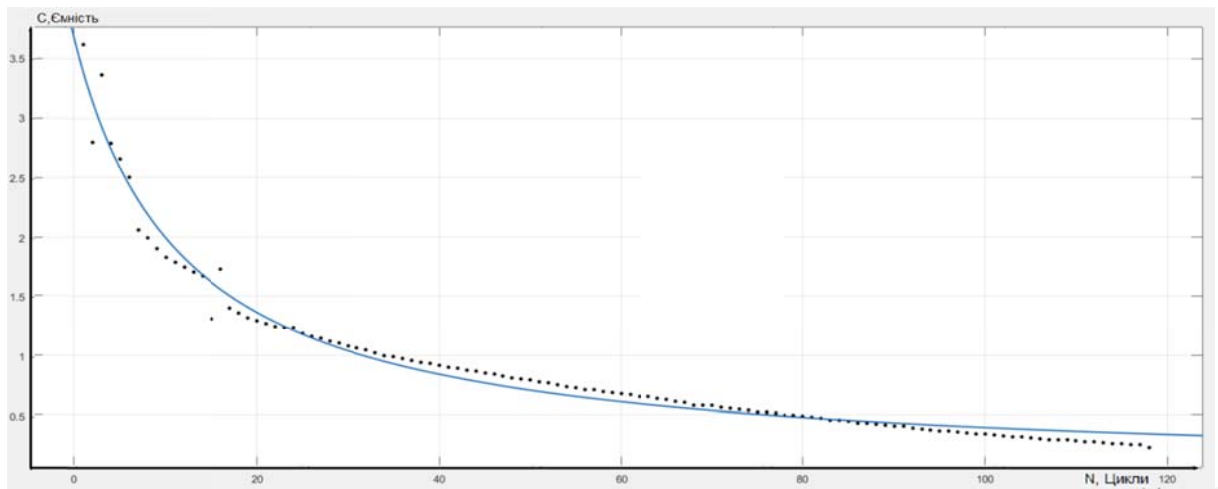
б)



в)



г)



д)

Рис. 4.2 Графік зміни ємності в залежності від циклу (а), апроксимований графік зміни ємності на основі експериментальних даних(б), накладена апроксимований графік на графік зміни ємності (в), промодельований графік за 14-ю точками(г), накладена розрахована графік зміни ємності за 14-ю точками та експериментальна зміна(д).

### 4.3 Розрахунок відхилення функції

Для імпульсно асиметричного струму коефіцієнт варіації

$$p1 = -0.0556 \quad (-0.1023, -0.008862);$$

$$p2 = 97.33 \quad (90.53, 104.1);$$

$$q1 = 29.07 \quad (26.38, 31.77).$$

Для постійного струму коефіцієнти варіації

$$p1 = 0.005772 \quad (-0.04747, 0.05901);$$

$$p2 = 43.11 \quad (39.42, 46.8);$$

$$q1 = 11.73 \quad (10.34, 13.12).$$

Розраховано наступні параметри, необхідні для оцінки точності проведених розрахунків і запропонованої методики прогнозування тривалості працездатності акумуляторної батареї.

$$\text{Середнє арифметичне всіх значень ємності } \Delta u_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

Для імпульсного асиметричного струму SLA акумулятора - 0,196661992.

Для імпульсним постійного струму SLA акумулятора 0,868613729 .

$$\text{Середньоквадратичне відхилення: } S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}.$$

Для асиметричного= 0,042130073.

Для постійного= 0,864956392.

$$\text{Коефіцієнт варіації: } V = \left| \frac{S}{\Delta u_c} \cdot 100\% \right|.$$

Для асиметричного 21%.

Для постійного 9%.

Максимальне абсолютне відхилення:

Для асиметричного  $\Delta u_{\max} = 0,213349845$ .

Для постійного  $\Delta u_{\max} = 0,279687708$ .

Максимальне відхилення у відсотках:

Для асиметричного  $\Delta u_{\max} = 15\%$ .

Для постійного  $\Delta u_{\max} = 26\%$ .

З проведеного порівняння розрахованих кривих залежності ємності від кількості циклів заряду/розряду з експериментальними видно, що запропонована методика прогнозування тривалості життя акумулятора дозволяє отримати розрахункові криві, значення яких відрізняються не більше ніж на 26% і коефіцієнт варіації (відтворюваність методу, що перевіряється) знаходиться у межах -21%, у порівнянні з експериментальними.

Потрібно зауважити, що параметри акумуляторів можуть різко змінюватися у процесі зарядження, а отже розраховані параметри тим точніші, чим більше експериментальних точок було використано при виведенні екстраполяційної формули [36].

#### **Висновки до розділу 4**

1. Прогнозування зміни ємності акумуляторної батареї перш за все потрібно для обґрунтованого вибору акумулятора при купівлі [37], а також при постійному нагляді за акумулятором можна з певною вірогідністю спрогнозувати, коли буде потрібно купувати нову акумуляторну батарею, що може покращити економічну складову.

2. Отримані експериментальні дані апроксимовані і отримано функцію апроксимації, з якої виведено поліном другої степені, з яких розраховано конфіденти варіації.

3. Порівняння експериментальних даних з розрахованою моделлю зміни ємності акумуляторної батареї показало, що використана модель дозволяє розрахувати криві деградації ємності акумулятора, значення яких відрізняються не більше ніж на 26% від експериментальних.

## Розділ 5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Стартап як форма малого ризикового (венчурного) підприємництва впродовж останнього десятиліття набула широкого розповсюдження у світі через зниження бар'єрів входу в ринок (із появою Інтернету як інструменту комунікацій та збуту стало простіше знаходити споживачів та інвесторів, займатись пошуком ресурсів, перетинати кордони між ринками різних країн), і вважається однією із наріжних складових інноваційної економіки, оскільки за рахунок мобільності, гнучкості та великої кількості стартап-проектів загальна маса інноваційних ідей зростає.

Проте створення та ринкове впровадження стартап-проектів відзначається підвищеною мірою ризику, ринково успішними стає лише невелика частка, що за різними оцінками складає від 10% до 20%. Ідея стартап-проекту, взята окремо, не вартує майже нічого: головним завданням керівника проекту на початковому етапі його існування є перетворення ідеї проекту у працюючу бізнес-модель, що починається із формування концепції товару (послуги) для визначеної клієнтської групи за наявних ринкових умов.

Розроблення та виведення стартап-проекту на ринок передбачає здійснення низки кроків, в межах яких визначають ринкові перспективи проекту, графік та принципи організації виробництва, фінансовий аналіз та аналіз ризиків і заходи з просування пропозиції для інвесторів. Узагальнено етапи розроблення стартап-проекту можна подати таким чином.

Етапи розроблення стартап-проекту

1. Маркетинговий аналіз стартап-проекту

В межах цього етапу:

розробляється опис самої ідеї проекту та визначаються загальні напрями використання потенційного товару чи послуги, а також їх відмінність від конкурентів;

аналізуються ринкові можливості щодо його реалізації;

на базі аналізу ринкового середовища розробляється стратегія ринкового впровадження потенційного товару в межах проекту.

## 2. Організація стартап-проекту

В межах цього етапу:

складається календарний план-графік реалізації стартап-проекту;  
розраховується потреба в основних засобах та нематеріальних активах;  
визначається плановий обсяг виробництва потенційного товару, на основі чого формулюється потреба у матеріальних ресурсах та персоналі;  
розраховуються загальні початкові витрати на запуск проекту та планові загальногосподарські витрати, необхідні для реалізації проекту.

## 3. Фінансово-економічний аналіз та оцінка ризиків проекту

В межах цього етапу:

визначається обсяг інвестиційних витрат;  
розраховуються основні фінансово-економічні показники проекту (обсяг виробництва продукції, собівартість виробництва, ціна реалізації, податкове навантаження та чистий прибуток) та визначаються показники інвестиційної привабливості проекту (запас фінансової міцності, рентабельність продажів та інвестицій, період окупності проекту);  
визначається рівень ризикованості проекту, визначаються основні ризики проекту та шляхи їх запобігання (реагування на ризики).

## 4. Заходи з комерціалізації проекту

Цей етап спрямовано на пошук інвесторів та просування інвестиційної пропозиції (оферти). Він передбачає:

визначення цільової групи інвесторів та опису їх ділових інтересів;  
складання інвест-пропозиції (оферти): стислої характеристики проекту для попереднього ознайомлення інвестора із проектом;  
планування заходів з просування оферти: визначення комунікацій-них каналів та площадок та планування системи заходів з просування в межах обраних каналів;



планування ресурсів для реалізації заходів з просування оферти.

Означені етапи, реалізовані послідовно та вчасно – створюють передумови для успішного ринкового старту. Проте фахівці зі створення та розвитку стартап-проектів окремо відзначають, що відсутність маркетингових знань та умінь, що уможлиблюють розробку ринково затребуваного проекту із вихідної ідеї, є основною причиною високого рівня банкрутств стартап-компаній, і ця проблема може бути вирішена за рахунок навчання винахідників. Відповідно, основним призначенням даних Методичних рекомендацій є надання студентам знань щодо суті, основних принципів розроблення стратегії ринкового впровадження та маркетингового управління інноваційними стартап-проектами у промислових галузях економіки, використання ефективних маркетингових інструментів просування високотехнологічних продуктів виробництва та послуг.

У розділі «Розроблення стартап-проекту» магістерських дисертацій студент має виконати перший етап розроблення стартап-проекту, а саме маркетинговий аналіз – виявити ринкові можливості використання результатів роботи

### 5.1 Опис ідеї проекту

Таблиця 5.1. Опис ідеї стартап-проекту

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Вигоди для користувача</i>
Зарядка акумуляторних батарей	1. Сонячні батареї[28]	Підвищена довговічність
	2. Система безперебійного живлення	Підвищена довговічність

Таблиця 5.2.Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик  
ідеї проекту

n/ n	Техніко- економічні характерис тики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторон а)	S (сильна сторона)
		Мій проек т	СТЕК	BOSH	JMP		
1.	Асиметричн ий заряд	+	-	-	-	Ціна	Підвищена довговічні сть [39]
2.	Зв'язок з середовище м інтернет	+	+	-	-	Більше енерго живлен ня	зручність

## 5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 5.3.Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ n/n	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
	Зарядний пристрій	Розробка пристрою	Наявні	Так

## 5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Таблиця 5.4.Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

n/ n	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	10
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	1000000 ум.од
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Доказ кращого методу
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	нема
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	середня

Таблиця 5.5.Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i>	<i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
	Заряд акумуляторних батарей	Люди яким потрібно заряджати акумуляторні батарей	Ціна, місце розробки та виготовлення, методи заряду форм-фактор	- до продукції Якість Низький процент браку - до компанії- постачальника Сроки поставки Низький процент браку

Таблиця 5.6.Фактори загроз

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
	Дороговизна	Розробка та вихід на ринок може бути дорогим	Пошук дешевших шляхів розповсюдження
	Дороговизна	Розробка та ціна на сам проект може підвищити ціну на проект	Пошук більш дешевих розробників пристроїв

Таблиця 5.7.Фактори можливостей

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
	Розробка самого проекта вже зроблена	Не потрібно витрачувати ресурсі на первісну розробку	Менше загроз

Таблиця 5.8.Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>
1. чиста	Багато конкурентів	Краща методика
2. Світовий	Продаються всюди	Продавати всюди
3. міжгалузева	Всюди потрібна	Всюди потрібна
4. - цінова	Чим дешевше и якісніше тим краще	Покращення цінової політики
5. За інтенсивністю - марочна/не марочна		

Таблиця 5.9.Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	<i>Прямі конкуренти в галузі</i>	<i>Потенційні конкуренти</i>	<i>Постачальники</i>	<i>Клієнти</i>	<i>Товари-замінники</i>
<i>Складові аналізу</i>	<i>СТЕК BOSH JPM</i>	<i>Незначна кількість</i>	<i>Фактори сили постачальників</i>	<i>Визначити фактори сили споживачів</i>	<i>Фактори загроз з боку замінників</i>
<b>Висновки:</b>	Велика	Нема даних	Ні	Цінові	Велика

Таблиця 5.10.Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

<i>№ п/п</i>	<i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)</i>
	За методикою зарядки	Покращення характеристик акумуляторних батарей

Таблиця 5.11.Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «зарядний пристрій»

№ п/ п	Фактор конкурентоспроможності	Рейтинг товарів-конкурентів 1. CTEK 2. BOSH 3. JPM 4. «зарядний пристрій»			
		1	2	3	4
1	За методикою зарядки	8	6	7	9
2	Зв'язок з користувачем	7	6	6	7
3	Ціна	5	6	5	5
	Сума балів	20	18	18	21

Таблиця 5.12.SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: метод заряду	Слабкі сторони: ціна
Можливості: покращення всієї індустрії	Загрози: копіювання ідеї

Таблиця 5.13.Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
	Зниження ціни	Велика	1 рік

## 5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Таблиця 5.14.Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/ п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовн ий попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простот а входу у сегмент
	Працівники електростанцій	Велика	10000	Велика	складна

Таблиця 5.15.Визначення базової стратегії розвитку

<i>№ n/ n</i>	<i>Обрана альтернатива розвитку проекту</i>	<i>Стратегія охоплення ринку</i>	<i>Ключові конкурентоспромо жні позиції відповідно до обраної альтернативи</i>	<i>Базова стратегія розвитку*</i>
	Зменшення ціни	Масовість- якісність	Методика заряду	Продаж

Таблиця 5.16.Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

<i>№ n/n</i>	<i>Чи є проект «періопрохідцем» на ринку?</i>	<i>Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?</i>	<i>Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?</i>	<i>Стратегія конкурентної поведінки*</i>
	Так	Так	Якісність, дешевизна масовість	Зменшення ціни, краща методика заряду

Таблиця 5.17.Визначення стратегії позиціонування

<i>№ n/ n</i>	<i>Вимоги до товару цільової аудиторії</i>	<i>Базова стратегія розвитку</i>	<i>Ключові конкурентоспромо жні позиції власного стартап- проекту</i>	<i>Вибір асоціацій, які мають сформулювати комплексну позицію власного проекту (три ключових)</i>
	Якісність	Конкурентно спроможний продаж товару	Покращення економічної сталості при роботі з акумуляторами	Економічність Конкурентна ціна Зв'язок з користувачем

### **Висновки до розділу 5**

В результаті проведеного маркетингового аналізу перспектив реалізації запропонованих науково-технічних рішень та пропозицій, оцінювання можливостей їх ринкового впровадження можна стверджувати, що розроблюваний проект має можливість ринкової комерціалізації та може бути рентабельним проектом на ринку. Зростання попиту на аналогічні товари додає масовості придбання подібних пристроїв, але створює жорсткі конкурентні умови виходу на ринок.

Проект має високі перспективи впровадження з огляду на сучасний стан промисловості, яка потребує нових потужних та економних рішень. Бар'єрами входження на ринок може бути відсутність масового виробника, сильний конкурентний тиск з боку великих фірм аналогічних продуктів, потреба у великій кількості кваліфікованих кадрів та дорогої точної апаратури. Але якщо правильно розставити пріоритети, зарекомендувати себе на ринку і грамотно вести бізнес, то проект має великі шанси на ріст та гідний прибуток.

Подальша імплементація проекту є доцільною та рентабельною.

## ВИСНОВКИ

1. Розроблений пристрій повністю підходить для дослідницьких цілей, так як має високе значення ККД, а так само можливість роботи з різними видами акумуляторів з високим діапазоном номінальних ємностей

2. МСУ має достатню швидкість роботи як АЦП, так і подачі імпульсів, також проста і швидка (до 256000 baud rate) схема підключення до ПК. Дана МСУ має можливість в режимі реального часу відслідковувати з датчиків сигнали напруг і струмів. Можливість управління через кнопки, які підключені безпосередньо до МСУ, і управління через ПК

3. У ході експериментів було поставлено завдання дослідити зміни ємностей на різних видах акумуляторів. В ході роботи були зняті і представлені значення напруг, струмів і часу, який було витрачено на заряду / розряду АБ.

4. Зняті дані, на SLA АБ, показують різницю змін ємностей двох акумуляторів, які були заряджені різними методами. В ході експериментальної роботи були виявлені такі супутні відмінності: при заряді від постійного струму на акумуляторі було помічено збільшення температури при наближенні до позначки "заряджений", дане спостереження було знято під час заряду акумулятора з ємністю 7 А \* год струмом 1 А, що є середнім значенням між максимальним струмом заряду і мінімальним. На відміну від заряду постійним струмом, імпульсним асиметричний метод заряду показав себе як метод при якому акумулятор був постійної температури [40].

5. Показані зміни значення ємності від циклу заряду (див. рис 3.9 та 3.13), з яких видно, що кількість циклів згубно впливає на час розряду, але при використанні заряду імпульсним асиметричним струмом можна даний ефект згладити і отримати більш тривалий "цикл життя" акумулятора.



## ЛІТЕРАТУРА

1. Дослідження впливу заряду асиметричним струмом на ємність акумуляторних батарей / Snegirev V.A., Volkivskyi V.B. // Електронна та Акустична Інженерія. – 2018. (in review)
2. Дикий М. О., Поновлювані джерела енергії, К., Вища школа, 1993, 351стр.
3. Батарейки и аккумуляторы: Для широкого круга читателей / В. С. Лаврус (ред.). — К.: Наука и техника, 1995. — 47с.: ил. — (Информационное издание; Вып.1).
4. Деордиев С. С. Аккумуляторы и уход за ними. — К.: Техніка, 1985. — 136 с.
5. Источники энергии: Для широкого круга читателей / В. С. Лаврус (ред.). — К.: Наука и техника, 1997. — 106с.: ил. — (Информационное издание).
6. Синдеев Игорь Михайлович. Электроснабжение летательных аппаратов: [Учебник для вузов гражд. авиации] / И. М. Синдеев. — М. : Транспорт, 1982. — 272 с. : ил.; 22 см.
7. Накопители энергии: Учеб. Пособие для вузов / Д. А. Бут, Б. Л. Алиевский, С. Р. Мизюрин, П. В. Васюкевич; Под ред. Д. А. Бута.—М.: Энергоатомиздат, 1991.—400 с.: ил.
8. Перетворювальна техніка. Підручник. Ч. 2 / Ю. П. Гончаров, О. В. Будьонний, В. Г. Морозов, М. В. Панасенко, В. Я. Ромашко, В. С. Руденко. За ред. В. С. Руденка. — Харків: Фоліо, 2000. — 360 с.
9. Ромашко В.Я. Основы анализа дискретно-линейных ланцюгів. К.: Либідь. 1993.
10. Вентильные преобразователи переменной структуры /Тонкаль В.Е., Руденко В.С., Жуйков В.Я., Сучик В.Е., Денисюк С.П., Новосельцев

А.В.; Отв. ред. Шидловский А.К.; АН УССР. Ин-т электродинамики.– Киев : Наук. думка, 1989.– 336 с.

11. MATLAB 6 / 6.1 / 6.5 + Simulink 4 / 5. Основы применения. Полное руководство пользователя / Дьяконов В.П. – М.: СОЛОН-Пресс. – 2002.– 768 с.

12. Дьяконов В.П. Simulink 4. Специальный справочник. – СПб.: ПИТЕР, 2002. – 528с.: ил.

13. И.В.Черных. Simulink: Инструмент моделирования динамических систем. – [www.matlab.ru/simulink/book1/index.asp.htm](http://www.matlab.ru/simulink/book1/index.asp.htm)

14. Преобразовательная техника: Руденко В.С., Сенько В.И., Чиженко И.М. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Вища школа. 1983. – 431с.

15. Планирование и организация измерительного эксперимента / Е.Т. Володарский, Б.Н. Малиновский, Ю.М. Туз – К.: Вища шк.. 1987. – 280с.

16. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи: Учебник для электротехн., энерг., - 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1984. – 559с.

17. Терещенко Т.О., Співак В.М., Волківський В.Б. Пристрій для заряду енергоємних акумуляторних батарей асиметричним струмом // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск “Силова електроніка та енергоефективність”, частина 2. – 2003. – с. 11-15.

18. Волківський В.Б. Триланковий пристрій для заряду енергоємних акумуляторних батарей асиметричним струмом // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск “Проблеми сучасної електротехніки”, частина 6. – 2004. – с. 89-94.

19. Сысолятин Виктор Юрьевич Цифровое устройство заряда-разряда химических источников тока // ОНВ. 2012. №3 (113). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovoe-ustroystvo-zaryada-razryada-himicheskikh-istochnikov-toka>.

20. Волківський В.Б.” напівпровідникові перетворювачі з підвищеною ефективністю заряду акумуляторів імпульсними асиметричними струмами” Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, Київ – 2007

21. Рогачёв К.Д. Силовые биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT). – <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/publ/igbt/index.htm>

22. Перетворювальна техніка. Підручник. Ч. 2 / Ю. П. Гончаров, О. В. Будьонний, В. Г. Морозов, М. В. Панасенко, В. Я. Ромашко, В. С. Руденко. За ред. В. С. Руденка. – Харків: Фоліо, 2000. – 360 с.

23. Подражанский Юрий Маркович. Использование импульсных режимов заряда для повышения эксплуатационных параметров аккумуляторов: Дис... канд. техн. наук: 05.17.03 / Украинский гос. химико-технологический ун-т. – Д., 2000. – 133 л. + прил.(24л.) – Две кн. единицы. – Библиогр.: л. 127-133.

24. V. Srinivasan, G. Q. Wang, and C. Y. Wang, “Mathematical Modeling of Current-Interrupt and Pulse Operation of Valve-Regulated Lead Acid Cells,” J. El

25. J. B. Wang and C. Y. Chuang, “A multiphase battery charger with pulse charging scheme,” IECON Proc. (Industrial Electron. Conf., vol. 2005, pp. 1

26. Каменев Ю. Б., Штомпель Г. А., Чунц Н. И. Ускоренный метод заряда свинцово-кислотного аккумулятора 1. Гальваностатический этап заряда // Электрохимическая энергетика. 2012. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uskorennyy-metod-zaryada-svintsovo-kislotnogo-akkumulyatora-1-galvanostaticheskiy-etap-zaryada>

27. Chuang, Y.C. and Y.L. Ke, 2008. High efficiency battery charger with a buck zero-current-switching pulse-width-modulated converter. IET Power Electron., 1: 433-444.

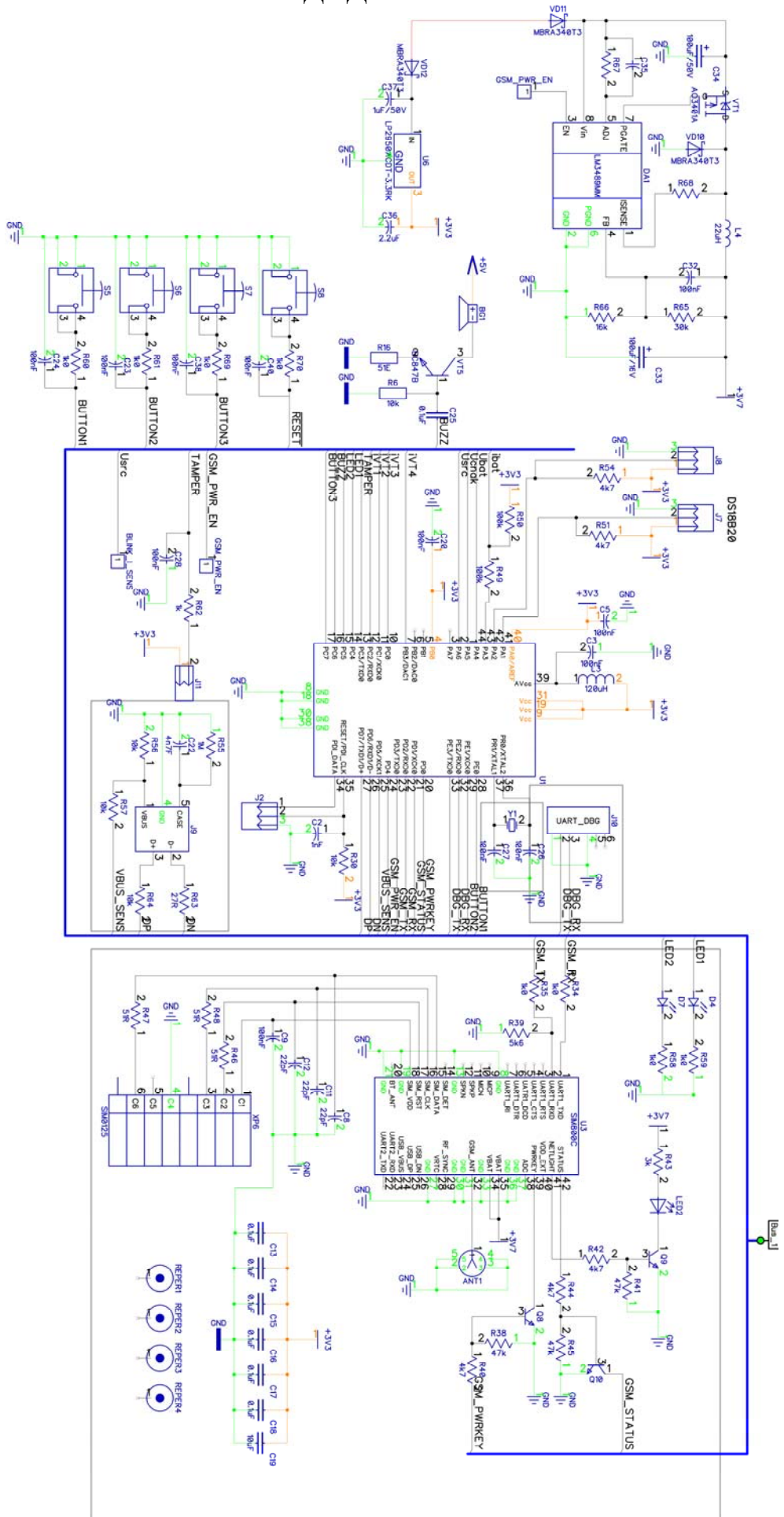
28. C. C. Hua, Z. W. Syue, " Charge and discharge characteristics of lead-acid battery and LiFeP O4 battery ", Proc. IEEE IPEC, pp. 1478-1483, June. 2010.

29. Н. P. Smetankin., S. S. Matekin., A. V. Burdyihov., i T. V. Plokhova., “Ispytaniia hermetichnykh nikel-kadmievykh akkumuliatornykh batarei na sokhranost emkosti pri dlitelnom khranении posle zariada postoiannym i acymmetrychnym tokhami,” *Elektrokhimicheskaja Energetika*, 2012.
30. Казаринов И. А., Дувинг В. Г., Бурашникова М. М., Решетов В. А., Борщенко А. А., Шишова М. А. Батарейная формировка свинцово-кислотных аккумуляторов импульсным асимметричным током // *Электрохимическая энергетика*. 2011. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/batareynaya-formirovka-svintsovo-kislotnyh-akkumulyatorov-impulsnym-asimmetrichnym-tokom>
31. H.-I. Hsieh, C.-Y. Tsai, and G.-C. Hsieh, “Photovoltaic Burp Charge System on Energy-Saving Configuration by Smart Charge Management,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 29, no. 4, pp. 1777–1790, Apr. 2014.
32. Ткаченко К.И. Подовження строку служби свинцово-кислотних акумуляторних батарей при використанні відновлюваних джерел енергії // *ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет»*. 2015. №30. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/podovzhennya-stroku-sluzhbi-svintsovo-kislotnih-akumulyatornih-batarey-pri-vikoristanni-vidnovlyuvanih-dzherel-energiyi>
33. Дьяконов В.П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Основы применения. Полное руководство пользователя – М.: СОЛОН-Пресс. – 2002.– 768 с
34. Duerr, M. ; Cruden, A.J./ Dynamic model of a lead-acid battery for use in a domestic fuel cell system. In: *Journal of Power Sources*. 2006 ; Vol. 161, No. 2. pp. 1400-1411
35. J. Han, D. Kim, and M. Sunwoo, “State-of-charge estimation of lead-acid batteries using an adaptive extended Kalman filter,” *J. Power Sources*, vol. 188, no. 2, pp. 606–612, Mar. 2009, DOI: 10.1016/j.jpowsour.2008.11.143.

36. W.-S. Jwo and W.-L. Chien, "Design and Implementation of a Charge Equalization Using Positive/Negative Pulse Charger," in 2007 IEEE Industry Applications Annual Meeting, 2007, pp. 1076–1081, DOI: 10.1109/07IAS.2007.167.
37. V. Srinivasan, G. Q. Wang, and C. Y. Wang, "Mathematical Modeling of Current-Interrupt and Pulse Operation of Valve-Regulated Lead Acid Cells," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 150, no. 3, p. A316, 2003, DOI: 10.1149/1.1541005.
38. L. T. Lam et al., "Pulsed-current charging of lead/acid batteries — a possible means for overcoming premature capacity loss?," *J. Power Sources*, vol. 53, no. 2, pp. 215–228, Feb. 1995, DOI: 10.1016/0378-7753(94)01988-8.
39. N. Liu and T. G. Habetler, "A study of designing a universal inductive charger for Electric Vehicles," in IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2013, pp. 4528–4533, DOI: 10.1109/IECON.2013.6699865.
40. J. F. A. Leao, L. V. Hartmann, M. B. R. Correa, and A. M. N. Lima, "Lead-acid battery modeling and state of charge monitoring," in 2010 Twenty-Fifth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2010, pp. 239–243, DOI: 10.1109/APEC.2010.5433666.



## ДОДАТОК Б



## ДОДАТОК В

Заряд імпульсним асиметричним струмом							Заряд постійним струмом					
№	Заряд			Розряд			Заряд			Розряд		
	U <sub>зар</sub> , В	t, ч	U <sub>зар</sub> , В	U <sub>зар</sub> , В	C, А*Г	U <sub>роз</sub> , В	U <sub>роз</sub> , В	t, ч	U <sub>зар</sub> , В	U <sub>зар</sub> , В	C, А*Г	U <sub>роз</sub> , В
1				14,91	3,59651	10,8					3,6207	10,81
2	11.60	6,21	16,78	14,89	3,46483	10,8	12.16	6,33	16,65	12,97	2,7978	10,81
3	11,66	5,44	16,79	14,86	3,32492	10,8	12.21	6,26	16,79	14,27	3,3656	10,8
4	12.1	5,26	16,38	14,51	2,81466	10,8	12.19	5,36	16,91	14,59	2,7896	10,79
5	12.5	5,24	16,84	14,79	2,80643	10,8	12.20	4,59	16,9	14,56	2,6579	10,79
6	12.5	5,16	16,88	14,77	2,76528	10,8	12.23	4,34	16,93	14,52	2,5016	10,8
7	12.14	4,32	16,82	14,71	2,65829	10,8	12.26	4,05	16,97	14,5	2,0572	10,8
8	12.12	4,24	16,56	14,68	2,62537	10,8	12.28	3,47	16,93	14,45	1,9914	10,79
9	12.16	4,42	16,9	14,71	2,60891	10,8	12.31	3,35	16,97	14,45	1,9009	10,79
10	12.17	4,01	16,78	14,64	2,51015	10,8	12.31	3,20	16,98	14,45	1,8268	10,8
11	12.17	3,34	16,73	14,57	2,10688	10,8	12.33	3,10	16,96	14,43	1,7856	10,8
12	12.20	3,43	16,78	14,61	2,09042	10,8	12.35	3,01	16,92	14,4	1,7445	10,79
13	12.20	3,13	16,7	14,5	2,04927	10,8	12.37	2,53	16,9	14,4	1,7034	10,8
14	12.23	4,01	16,82	14,61	2,0575	10,8	12.37	2,47	16,92	14,39	1,6704	10,8
15	12.20	3,35	16,50	14,56	2,04927	10,8	12.38	2,41	16,92	14,38	1,3084	10,8
16	12,21	3,22	16,47	14,51	1,98343	10,8	12,45	2,37	16,85	14,35	1,7280	10,8
17	12,21	3,59	16,49	14,51	2,0575	10,8	12,46	2,2	16,86	14	1,3989	10,79
18	12,21	3,34	16,49	14,51	1,98343	10,8	12,46	2,2	16,9	14,03	1,3577	10,81
19	12,26	3	16,86	14,47	1,8106	10,8	12,47	2,17	16,81	14,34	1,3166	10,8
20	12,26	2,35	15,5	14,07	1,77768	10,8	12,47	2,1	16,88	14	1,2919	10,8
21	12,26	2,45	15,96	14,44	1,79414	10,8	12,49	2,05	16,85	14,01	1,2672	10,8
22	12,27	2,41	16,05	14,45	1,81883	10,8	12,9	2,02	16,85	14,01	1,2425	10,8
23	12,26	2,47	16,3	14,48	1,83529	10,8	12,5	2	16,83	14,02	1,2343	10,8
24	12,27	2,37	16,3	14,41	1,78591	10,8	12,51	1,95	16,85	14,03	1,2343	10,8
25	12,27	2,35	16,35	14,42	1,76945	10,8	12,51	1,92	16,81	14,03	1,1849	10,8
26	12,27	2,39	16,41	14,46	1,76122	10,8	12,53	1,9	16,8	14,32	1,1602	10,8
27	12,27	2,28	16,37	14,39	1,7283	10,8	12,53	1,85	16,8	14,03	1,1438	10,8
28	12,28	2,32	16,43	14,42	1,72007	10,8	12,53	1,82	16,82	14,3	1,1191	10,8



29	12,27	2,26	16,43	14,41	1,69538	10,8	12,54	1,79	16,81	14,3	1,1026	10,8
30	12,27	2,28	16,44	14,43	1,69538	10,8	12,55	1,75	16,83	14,3	1,0780	10,8
31	12,27	2,28	16,35	14,44	1,68715	10,8	12,55	1,72	16,8	14,3	1,0615	10,8
32	12,28	2,20	16,45	14,39	1,65423	10,8	12,56	1,68	16,8	14,3	1,0450	10,8
33	12,28	2,22	16,46	14,42	1,65423	10,8	12,57	1,65	16,8	14,3	1,0203	10,8
34	12,29	2,08	16,3	14,26	1,27565	10,8	12,58	1,61	16,9	14,3	0,9957	10,8
35	12,28	2,06	16,31	14,23	1,29211	10,8	12,58	1,61	16,8	14,3	0,9874	10,8
36	12,28	2,14	16,42	14,31	1,29211	10,8	12,59	1,57	16,8	14,3	0,9710	10,8
37	12,29	2,12	16,3	14,34	1,28388	10,8	12,59	1,54	16,8	14,3	0,9545	10,8
38	12,29	2,08	16,31	14,31	1,25919	10,8	12,6	1,51	16,9	14,3	0,9381	10,8
39	12,29	2,08	16,3	14,34	1,25096	10,8	12,6	1,51	16,8	14,3	0,9298	10,8
40	12,29	1,55	16,24	14,36	1,25096	10,8	12,61	1,47	16,8	14,3	0,9134	10,8
41	12,30	2,00	16,25	14,24	1,20981	10,8	12,62	1,44	16,9	14,3	0,8969	10,8
42	12,30	1,57	16,27	14,24	1,21804	10,8	12,62	1,44	16,8	14,3	0,8887	10,8
43	12,29	2,06	16,29	14,33	1,22627	10,8	12,62	1,41	16,9	14,3	0,8722	10,8
44	12,30	2,00	16,30	14,29	1,20158	10,8	12,63	1,4	16,8	14,3	0,8640	10,8
45	12,30	2,02	16,38	14,32	1,20158	10,8	12,63	1,37	16,9	14,3	0,8475	10,8
46	12,30	2,00	16,29	14,32	1,18512	10,8	12,63	1,37	16,8	14,3	0,8393	10,8
47	12,30	1,51	16,25	14,21	1,16043	10,8	12,64	1,34	16,9	14,3	0,8229	10,8
48	12,30	1,58	16,35	14,31	1,16866	10,8	12,65	1,3	16,9	14,3	0,8064	10,8
49	12,31	1,55	16,28	14,28	1,1522	10,8	12,65	1,25	16,9	14,3	0,7982	10,8
50	12,30	1,53	16,41	14,3	1,14397	10,8	12,65	1,27	16,83	14,23	0,7899	10,8
51	12,31	1,51	16,46	14,3	1,13574	10,8	12,63	1,27	16,8	14,24	0,7735	10,8
52	12,31	1,49	16,49	14,27	1,11928	10,8	12,66	1,27	16,7	14,25	0,7652	10,8
53	12,31	1,51	16,42	14,32	1,11928	10,8	12,66	1,23	16,87	14,26	0,7488	10,8
54	12,30	1,49	16,38	14,31	1,11105	10,8	12,67	1,2	16,9	14,25	0,7323	10,8
55	12,31	1,47	16,46	14,3	1,10282	10,8	12,67	1,2	16,8	14,26	0,7241	10,8
56	12,31	1,43	16,46	14,23	1,08636	10,8	12,67	1,16	16,9	14,26	0,7076	10,8
57	12,31	1,47	16,31	14,32	1,09459	10,8	12,67	1,16	16,74	14,26	0,7076	10,8
58	12,31	1,39	16,25	14,19	1,06167	10,8	12,68	1,13	16,9	14,26	0,6912	10,8
59	12,31	1,41	16,44	14,25	1,06167	10,8	12,68	1,13	16,73	14,26	0,6830	10,8

60	12,32	1,43	16,26	14,3	1,06167	10,8	12,69	1,1	16,89	14,24	0,6747	10,8
61	12,31	1,41	16,35	14,29	1,05344	10,8	12,69	1,1	16,72	14,24	0,6665	10,8
62	12,31	1,41	16,34	14,3	1,04521	10,8	12,7	1,06	16,93	14,24	0,6500	10,8
63	12,31	1,39	16,4	14,29	1,03698	10,8	12,69	1,06	16,67	14,22	0,6500	10,8
64	12,31	1,39	16,38	14,3	1,02875	10,8	12,69	1,06	16,67	14,24	0,6336	10,8
65	12,31	1,37	16,34	14,29	1,02052	10,8	12,71	1,03	16,87	14,24	0,6254	10,8
66	12,32	1,37	16,29	14,3	1,02052	10,8	12,7	0,99	16,99	14,23	0,6089	10,8
67	12,31	1,35	16,44	14,26	1,00406	10,8	12,7	0,99	16,89	14,25	0,6007	10,8
68	12,31	1,33	16,48	14,26	0,9876	10,8	12,71	0,96	16,99	1424	0,5760	10,8
69	12,32	1,33	16,48	14,29	0,9876	10,8	12,72	0,96	16,9	14,25	0,5760	10,8
70	12,31	1,31	16,46	14,27	0,97937	10,8	12,72	0,96	16,35	14,22	0,5760	10,8
71	12,32	1,29	16,41	14,26	0,97114	10,8	12,72	0,92	16,94	14,24	0,5595	10,8
72	12,32	1,31	16,25	14,28	0,97937	10,8	12,72	0,92	16,72	14,24	0,5513	10,8
73	12,31	1,31	16,43	14,3	0,96291	10,8	12,73	0,89	16,98	14,24	0,5431	10,8
74	12,32	1,29	16,48	14,31	0,95468	10,8	12,73	0,89	16,85	14,24	0,5348	10,8
75	12,32	1,29	16,37	14,32	0,94645	10,8	12,74	0,85	17	14,23	0,5184	10,8
76	12,32	1,29	16,29	14,35	0,94645	10,8	12,74	0,85	16,92	14,24	0,5184	10,8
77	12,32	1,27	16,31	14,27	0,93822	10,8	12,74	0,85	16,1	14,1	0,5101	10,8
78	12,33	1,24	16,33	14,28	0,93822	10,8	12,74	0,82	16,98	14,24	0,4937	10,8
79	12,32	1,25	16,32	14,3	0,92999	10,8	12,74	0,82	16,83	14,24	0,4937	10,8
80	12,32	1,24	16,29	14,3	0,92176	10,8	12,75	0,82	15,32	14,1	0,4855	10,8
81	12,32	1,23	16,47	14,27	0,91353	10,8	12,45	0,79	16,9	14,24	0,4772	10,8
82	12,32	1,22	16,33	14,29	0,9053	10,8	12,74	0,79	16,67	14,22	0,4690	10,8
83	12,32	1,22	16,27	14,3	0,9053	10,8	12,45	0,7	17	14,23	0,4525	10,8
84	12,32	1,20	16,39	14,29	0,89707	10,8	12,75	0,75	16,9	14,23	0,4525	10,8
85	12,32	1,19	16,47	14,26	0,88884	10,8	12,76	0,75	15,6	14,1	0,4443	10,8
86	12,32	1,18	16,4	14,26	0,88884	10,8	12,76	0,72	17	14,22	0,4279	10,8
87	12,33	1,17	16,38	14,28	0,88884	10,8	12,76	0,72	16,88	14,23	0,4279	10,8
88	12,33	1,16	16,45	14,22	0,87238	10,8	12,81	0,72	15,38	14,1	0,4196	10,8
89	12,32	1,16	16,44	14,24	0,86415	10,8	12,76	0,68	17	14,22	0,4114	10,8
90	12,32	1,14	16,47	14,23	0,85592	10,8	12,77	0,68	16,87	14,22	0,4032	10,8

91	12,33	1,14	16,46	14,25	0,85592	10,8	12,76	0,68	15,45	14,1	0,4032	10,8
92	12,33	1,14	16,4	14,26	0,84769	10,8	12,77	0,65	17	14,22	0,3867	10,8
93	12,33	1,14	16,25	14,29	0,84769	10,8	12,77	0,65	16,89	14,22	0,3785	10,8
94	12,32	1,12	16,43	14,26	0,83946	10,8	12,77	0,65	15,5	14,15	0,3703	10,8
95	12,33	1,12	16,41	14,27	0,83123	10,8	12,83	0,61	17	14,22	0,3620	10,8
96	12,33	1,12	16,25	14,29	0,83123	10,8	12,78	0,61	16,94	14,22	0,3620	10,8
97	12,33	1,10	16,31	14,25	0,84769	10,8	12,78	0,61	15,63	14,16	0,3538	10,8
98	12,33	1,2	16,26	14,24	0,86415	10,8	12,78	0,58	17	14,22	0,3456	10,8
99	12,33	1,23	16,22	14,25	0,85592	10,8	12,78	0,58	16,98	14,22	0,3373	10,8
100	12,33	1,23	16,29	14,26	0,83946	10,8	12,78	0,58	15,86	14,1	0,3373	10,8
101	12,34	1,23	16,24	14,3	0,823	10,8	12,78	0,58	15,03	14,14	0,3291	10,8
102	12,34	1,2	16,27	14,3	0,81477	10,8	12,78	0,55	17,04	14,22	0,3209	10,8
103	12,34	1,2	16,23	14,32	0,80654	10,8	12,78	0,55	16,89	14,22	0,3127	10,8
104	12,34	1,16	16,21	14,29	0,79008	10,8	12,78	0,55	15,48	14,15	0,3127	10,8
105	12,35	1,1	16,26	14,22	0,79008	10,8	12,78	0,55	15	14,14	0,3044	10,8
106	12,34	1,16	16,19	14,29	0,79008	10,8	12,78	0,51	17	14,22	0,2962	10,8
107	12,35	1,1	16,2	14,2	0,77362	10,8	12,79	0,51	16,9	14,22	0,2880	10,8
108	12,35	1,03	14,48	13,85	0,74893	10,8	12,79	0,51	15,29	14,15	0,2880	10,8
109	12,33	1,2	14,71	13,98	0,75716	10,8	12,78	0,51	14,99	14,13	0,2880	10,8
110	12,33	1,27	14,68	14,06	0,77362	10,8	12,79	0,48	17	14,2	0,2797	10,8
111	12,33	1,23	14,68	14,04	0,76539	10,8	12,79	0,48	16,98	14,2	0,2715	10,8
112	12,33	1,23	14,75	14,03	0,76539	10,8	12,79	0,48	15,9	14,16	0,2715	10,8
113	12,33	1,23	14,73	14,02	0,76539	10,8	12,8	0,48	15,06	14,13	0,2633	10,8
114	12,33	1,27	14,72	14,05	0,77362	10,8	12,8	0,44	17	14,2	0,2550	10,8
115	12,33	1,27	14,76	14,02	0,77362	10,8	12,79	0,44	17	14,2	0,2550	10,8
116	12,33	1,27	14,75	14,03	0,78185	10,8	12,8	0,44	16,24	14,17	0,2468	10,8
117	12,33	1,23	14,74	14	0,78185	10,8	12,79	0,44	15,3	14,14	0,2468	10,8
118	12,32	1,23	16,24	14,22	0,77362	10,8	12,8	0,44	15	14,13	0,2221	10,8
119	12,35	1,13	16,27	14,23	0,75716	10,8						
120	12,36	1,1	16,22	14,26	0,78185	10,8						
121	12,36	1	16,23	14,24	0,7407	10,8						

122	12,36	1	16,28	14,22	0,72424	10,8						
123	12,36	1,03	16,28	14,18	0,71601	10,8						
124	12,37	1,06	16,26	14,24	0,71601	10,8						
125	12,37	1,03	16,2	14,23	0,71601	10,8						
126	12,36	0,99	16,2	14,14	0,70778	10,8						
127	12,37	1,03	16,17	14,2	0,70778	10,8						
128	12,37	0,99	16,17	14,17	0,69132	10,8						
129	12,38	0,99	16,15	14,19	0,69132	10,8						
130	12,37	1,03	16,25	14,19	0,67486	10,8						
131	12,38	0,96	16,27	14,11	0,66663	10,8						
132	12,38	0,99	16,2	14,21	0,69132	10,8						
133	12,38	0,96	16,13	14,24	0,69132	10,8						
134	12,38	0,96	16,17	14,18	0,68309	10,8						
135	12,37	0,99	16,11	14,24	0,65017	10,8						
136	12,38	0,89	16,14	14,14	0,60902	10,8						
137	12,39	0,88	16,21	14,12	0,62548	10,8						
138	12,39	0,93	16,31	14,1	0,60902	10,8						
139	12,39	0,92	16,17	14,21	0,61725	10,8						
140	12,39	0,92	16,1	14,23	0,61725	10,8						
141	12,39	0,89	16,2	14,2	0,60902	10,8						
142	12,39	0,89	16,15	14,22	0,60079	10,8						
143	12,4	0,82	16,2	14,18	0,5761	10,8						
144	12,4	0,79	16,2	14,13	0,54318	10,8						
145	12,4	0,79	16,16	14,15	0,53495	10,8						
146	12,4	0,79	16,2	14,13	0,52672	10,8						
147	12,41	0,75	16,16	14,16	0,51026	10,8						
148	12,4	0,75	16,18	14,17	0,51026	10,8						
149	12,41	0,75	16,17	14,17	0,51026	10,8						
150	12,42	0,72	16,16	14,12	0,4938	10,8						
151	12,42	0,75	16,22	14,16	0,4938	10,8						
152	12,42	0,72	16,17	14,14	0,48557	10,8						
153	12,42	0,72	16,4	14,16	0,48557	10,8						
154	12,42	0,72	16,11	14,17	0,47734	10,8						
155	12,42	0,72	16,03	14,19	0,47734	10,8						

156	12,42	0,68	16,1	14,18	0,46911	10,8						
157	12,14	0,68	16,13	14,17	0,46088	10,8						
158	12,42	0,68	16,14	14,17	0,45265	10,8						
159	12,43	0,68	16,11	14,19	0,45265	10,8						
160	12,43	0,68	16,16	14,18	0,44442	10,8						
161	12,42	0,65	16,23	14,13	0,43619	10,8						
162	12,42	0,65	16,21	14,14	0,43619	10,8						
163	12,43	0,65	16,25	14,13	0,42796	10,8						
164	12,43	0,65	16,16	14,16	0,42796	10,8						
165	12,43	0,61	16,15	14,14	0,41973	10,8						
166	12,43	0,61	16,14	14,15	0,4115	10,8						
167	12,43	0,61	16,14	14,15	0,4115	10,8						
168	12,43	0,61	16,12	14,16	0,4115	10,8						
169	12,42	0,58	16,34	14,09	0,40327	10,8						
170	12,43	0,61	16,09	14,17	0,40327	10,8						
171	12,43	0,58	16,11	14,13	0,39504	10,8						
172	12,43	0,61	16,09	14,18	0,39504	10,8						
173	12,43	0,58	16,12	14,16	0,38681	10,8						
174	12,43	0,58	16,15	14,16	0,37858	10,8						
175	12,43	0,58	16,12	14,17	0,37858	10,8						
176	12,43	0,61	16,05	14,19	0,37858	10,8						
177	12,44	0,55	16,11	14,16	0,37035	10,8						
178	12,43	0,58	16,04	14,19	0,37035	10,8						
179	12,43	0,58	16,05	14,18	0,36212	10,8						
180	12,44	0,55	16,06	14,18	0,36212	10,8						
181	12,44	0,55	16,05	14,19	0,35389	10,8						
182	12,44	0,51	16,01	14,13	0,34566	10,8						
183	12,44	0,55	16,06	14,19	0,35389	10,8						
184	12,43	0,55	15,9	14,2	0,34566	10,8						
185	12,44	0,51	16,0	14,16	0,34566	10,8						
186	12,43	0,51	16,08	14,16	0,33743	10,8						
187	12,44	0,51	16,05	14,16	0,33743	10,8						
188	12,43	0,51	16,04	14,17	0,33743	10,8						
189	12,43	0,48	16,06	14,09	0,3292	10,8						

190	12,43	0,51	16,06	14,17	0,3292	10,8						
191	12,43	0,48	16,07	14,1	0,32097	10,8						
192	12,43	0,48	16,1	14,09	0,32097	10,8						
193	12,44	0,48	16,07	14,11	0,31274	10,8						
194	12,43	0,48	16,07	14,12	0,31274	10,8						
195	12,44	0,48	16,04	14,13	0,31274	10,8						
196	12,43	0,48	16,01	14,14	0,30451	10,8						
197	12,44	0,48	15,97	14,14	0,30451	10,8						
198	12,44	0,44	16,04	14,13	0,29628	10,8						
199	12,43	0,44	16,08	14,12	0,29628	10,8						
200	12,43	0,44	16,09	14,12	0,28805	10,8						
201	12,44	0,44	16,07	14,13	0,28805	10,8						
202	12,43	0,44	16,04	14,14	0,26336	10,8						
203	12,44	0,44	16,03	14,16	0,27982	10,8						
204	12,44	0,44	15,99	14,16	0,27982	10,8						
205	12,44	0,44	15,94	14,17	0,27982	10,8						
206	12,44	0,44	15,9	14,17	0,27982	10,8						
207	12,43	0,41	15,9	14,14	0,27159	10,8						
208	12,43	0,41	16,03	14,13	0,27159	10,8						
209	12,44	0,41	16,03	14,14	0,26336	10,8						
210	12,44	0,41	16,03	14,14	0,26336	10,8						
211	12,44	0,41	16	14,15	0,26336	10,8						
212	12,44	0,41	15,97	14,16	0,26336	10,8						
213	12,44	0,41	15,93	14,17	0,25513	10,8						
214	12,44	0,4	15,87	14,17	0,25513	10,8						
215	12,43	0,41	15,8	14,17	0,25513	10,8						
216	12,43	0,4	15,59	14,17	0,25513	10,8						
217	12,44	0,37	15,89	14,13	0,2469	10,8						
218	12,44	0,37	15,95	14,12	0,2469	10,8						
219	12,44	0,41	15,77	14,16	0,2469	10,8						
220	12,44	0,48	14,47	14,04	0,2469	10,8						
221	12,43	0,48	14,46	14,03	0,2469	10,8						
222	12,42	0,37	15,86	14,12	0,23867	10,8						
223	12,43	0,37	15,92	14,12	0,23867	10,8						

224	12,44	0,37	15,91	14,13	0,23867	10,8						
225	12,44	0,37	15,93	14,13	0,23867	10,8						
226	12,44	0,37	15,88	14,14	0,23044	10,8						
227	12,44	0,37	15,83	14,15	0,23044	10,8						
228	12,44	0,37	15,79	14,16	0,23044	10,8						
229	12,44	0,37	15,62	14,15	0,23044	10,8						
230	12,44	0,37	15,73	14,16	0,23044	10,8						
231	12,44	0,34	15,86	14,13	0,22221	10,8						

## ДОДАТОК Г

Заряд імпульсним асиметричним струмом							Заряд постійним струмом					
№	Заряд			Розряд			Заряд			Розряд		
	U <sub>зар</sub> , В	t, ч	U <sub>зар</sub> , В	U <sub>зар</sub> , В	C, А*Г	U <sub>роз</sub> , В	U <sub>роз</sub> , В	t, ч	U <sub>зар</sub> , В	U <sub>зар</sub> , В	C, А*Г	U <sub>роз</sub> , В
1	1,12	3,52	1,85	1,65	1,76	0,96	1,12	1,51	1,65	1,31	1,63	0,96
2	1,12	3,35	1,83	1,66	1,75	0,96	1,12	1,85	1,62	1,29	1,68	0,96
3	1,12	3,14	1,85	1,66	1,74	0,96	1,12	1,85	1,61	1,29	1,70	0,96
4	1,12	3,06	1,86	1,68	1,73	0,96	1,12	1,74	1,64	1,3	1,69	0,96
5	1,12	3,82	1,88	1,68	1,72	0,96	1,12	1,74	1,76	1,31	1,68	0,96
6	1,12	4,27	1,83	1,65	1,75	0,96	1,12	1,74	1,67	1,3	1,70	0,96
7	1,12	3,47	1,82	1,65	1,76	0,96	1,12	1,74	1,66	1,31	1,70	0,96
8	1,12	4,86	1,84	1,66	1,75	0,96	1,12	1,79	1,66	1,31	1,71	0,96
9	1,12	4,55	1,83	1,67	1,74	0,96	1,12	1,90	1,65	1,3	1,72	0,96
10	1,12	3,35	1,86	1,73	1,76	0,96	1,12	1,69	1,66	1,27	1,78	0,96
11	1,12	3,94	1,85	1,68	1,74	0,96	1,12	1,59	1,62	1,3	1,73	0,96
12	1,12	4,35	1,81	1,66	1,75	0,96	1,12	2,60	1,61	1,28	1,76	0,96
13	1,12	3,35	1,89	1,71	1,75	0,96	1,12	1,66	1,63	1,3	1,73	0,96
14	1,12	3,11	1,87	1,68	1,74	0,96	1,12	1,70	1,66	1,3	1,73	0,96
15	1,12	3,11	1,89	1,68	1,73	0,96	1,12	1,92	1,63	1,29	1,74	0,96
16	1,12	3,38	1,86	1,79	1,71	0,96	1,12	1,66	1,65	1,3	1,73	0,96
17	1,12	2,96	1,87	1,67	1,69	0,96	1,12	2,85	1,6	1,27	1,75	0,96
18	1,12	2,70	1,87	1,69	1,73	0,96	1,12	2,22	1,62	1,29	1,74	0,96
19	1,12	2,63	1,87	1,7	1,71	0,96	1,12	1,70	1,66	1,3	1,74	0,96
20	1,12	2,63	1,87	1,69	1,69	0,96	1,12	1,74	1,65	1,3	1,74	0,96
21	1,12	2,63	1,87	1,69	1,69	0,96	1,12	2,10	1,63	1,27	1,76	0,96
22	1,12	2,63	1,87	1,69	1,70	0,96	1,12	1,68	1,64	1,29	1,75	0,96
23	1,12	2,59	1,87	1,69	1,69	0,96	1,12	2,64	1,7	1,32	1,77	0,96
24	1,12	2,59	1,84	1,69	1,67	0,96	1,12	2,11	1,62	1,27	1,75	0,96
25	1,12	2,59	1,89	1,7	1,68	0,96	1,12	2,16	1,62	1,28	1,75	0,96
26	1,12	2,53	1,88	1,71	1,68	0,96	1,12	1,75	1,64	1,3	1,68	0,96
27	1,12	2,53	1,87	1,71	1,68	0,96	1,12	1,58	1,7	1,32	1,72	0,96



28	1,12	2,64	1,88	1,7	1,68	0,96	1,12	1,69	1,66	1,3	1,73	0,96
29	1,12	2,28	1,88	1,7	1,69	0,96	1,12	1,16	1,63	1,24	1,44	0,96
30	1,12	2,64	1,88	1,7	1,69	0,96	1,12	1,09	1,62	1,24	1,35	0,96
31	1,12	2,64	1,88	1,7	1,69	0,96	1,12	1,06	1,62	1,24	1,30	0,96
32	1,12	2,64	1,87	1,69	1,69	0,96	1,12	1,03	1,62	1,24	1,26	0,96
33	1,12	2,64	1,88	1,7	1,68	0,96	1,12	0,99	1,63	1,24	1,22	0,96
34	1,12	2,64	1,88	1,71	1,69	0,96	1,12	0,99	1,63	1,24	1,22	0,96
35	1,12	2,69	1,88	1,7	1,68	0,96	1,12	0,96	1,62	1,24	1,18	0,96
36	1,12	2,74	1,87	1,71	1,69	0,96	1,12	0,99	1,63	1,24	1,22	0,96
37	1,12	3,75	1,87	1,71	1,69	0,96	1,12	0,96	1,63	1,24	1,18	0,96
38	1,12	2,68	1,81	1,8	1,72	0,96	1,12	0,92	1,62	1,24	1,13	0,96
39	1,12	3,33	1,81	1,8	1,72	0,96	1,12	0,92	1,63	1,24	1,12	0,96
40	1,12	3,27	1,82	1,6	1,73	0,96						
41	1,12	3,77	1,83	1,76	1,65	0,96						
42	1,12	3,77	1,81	1,67	1,73	0,96						
43	1,12	3,54	1,81	1,67	1,65	0,96						
44	1,12	3,24	1,81	1,67	1,69	0,96						
45	1,12	2,82	1,81	1,67	1,74	0,96						
46	1,12	2,64	1,81	1,75	1,64	0,96						
47	1,12	2,59	1,89	1,7	1,72	0,96						
48	1,12	2,59	1,88	1,71	1,71	0,96						
49	1,12	2,48	1,89	1,7	1,71	0,96						
50	1,12	2,53	1,89	1,7	1,69	0,96						
51	1,12	2,59	1,89	1,71	1,69	0,96						
52	1,12	2,59	1,89	1,71	1,69	0,96						
53	1,12	2,53	1,89	1,71	1,69	0,96						
54	1,12	2,53	1,88	1,69	1,68	0,96						
55	1,12	2,48	1,9	1,7	1,68	0,96						
56	1,12	2,53	1,89	1,69	1,68	0,96						
57	1,12	2,53	1,9	1,7	1,68	0,96						
58	1,12	2,48	1,9	1,7	1,68	0,96						

59	1,12	2,53	1,89	1,69	1,67	0,96						
60	1,12	2,53	1,89	1,69	1,68	0,96						
61	1,12	2,53	1,9	1,71	1,68	0,96						
62	1,12	2,53	1,9	1,7	1,68	0,96						
63	1,12	2,59	1,9	1,71	1,68	0,96						
64	1,12	2,53	1,89	1,71	1,68	0,96						
65	1,12	2,53	1,89	1,69	1,67	0,96						
66	1,12	2,53	1,9	1,69	1,67	0,96						
67	1,12	2,53	1,89	1,69	1,67	0,96						
68	1,12	2,53	1,9	1,71	1,68	0,96						
69	1,12	2,59	1,88	1,7	1,67	0,96						
70	1,12	2,53	1,89	1,69	1,68	0,96						
71	1,12	2,59	1,89	1,7	1,67	0,96						
72	1,12	2,59	1,88	1,69	1,68	0,96						
73	1,12	2,53	1,89	1,69	1,68	0,96						
74	1,12	2,59	1,88	1,7	1,68	0,96						
75	1,12	2,53	1,88	1,69	1,68	0,96						
76	1,12	2,59	1,89	1,69	1,67	0,96						
77	1,12	2,59	1,88	1,69	1,68	0,96						

## **ABSTRACT**

The master's thesis contains 91 pages of printed text, 40 sources of literature.

The purpose of the study is the effect of various charge methods on the batteries lifetime, the study of the possibility of predicting battery life on the basis of data obtained in the initial cycles of charge / discharge, analysis of transients, the development of a charger and the development of an algorithm for efficient management.

Work objectives were achieved by carrying out theoretical and experimental researches. The basic provisions of the theory of electric circuits and the apparatus of mathematical modeling were used. Also, modern methods and DipTrace software tools for computer simulation were used to design a charger; Matlab - to calculate and predict the change in battery capacity.

As a result of this work experimental and approximate data of changes in the capacitance of lead-acid and nickel-cadmium type batteries were obtained.

An experimental battery charger with possibility of charge with asymmetrically pulse, pulse, direct current was built.

As a result of the experimental values of the capacity and the function of approximating these values, the forecasting of the subsequent change in the capacity of the battery pack based on the data taken by the device was simulated and built.

The main scientific provisions of the thesis are presented in two scientific publications.

Key features of the batteries

Batteries are chemical sources of electrical energy and may be used multiple times. They consist of two electrodes (positive and negative), electrolyte and case. The accumulation of electrical energy in the battery is a flow of chemical reaction of oxidation-reduction electrodes - to the positive electrode reaction is oxidation, and the negative - reaction restoration. At discharge of the battery reverse processes are occurring. Battery voltage is a potential difference between the poles of the battery at a fixed load.

For getting sufficiently large values of voltage or capacity separate batteries are interconnected in series or parallel to each other.

Batteries are distinguished by the type of physical and chemical processes such as alkaline and acid. In alkaline batteries, the electrolyte is an aqueous solution of caustic lye (potassium hydroxide or sodium hydroxide with addition or without addition of lithium hydroxide) in acid - sulfuric acid aqueous solution. To include alkaline nickel-cadmium (NiCd), nickel metal hydride (NiMH), lithium ion (Li-Ion) and Lithium Polymer (Li-Polymer) batteries. By acid - sealed lead-acid (Sealed Lead Acid - SLA). The composition of active material plates are divided into alkaline batteries, silver-zinc, silver-cadmium, nickel-cadmium, nickel-zinc and iron-nickel. In the lead-acid lead battery plates. The main disadvantage is their low energy, relatively small resource and a huge negative impact on people and equipment.

### **Sealed lead-acid (Sealed Lead Acid - SLA)**

Electric battery from the category of secondary batteries has an operating principle which is based on electrochemical reactions of lead and lead dioxide in sulfuric acid medium.

Depending on the desired voltage and total capacity batteries are assembled of several items. So in most cases the battery is made in a serial (or parallel) connection of several "elements" each of which provides a voltage of 2 V and is made up of several groups of lead oxide plates covered with lead and acid. Lead oxide lattice is covered with lead-called plate. Each lead element, which is a group of plates has two terminals on the positive side of the element and the negative. The plates of the battery are made of lead and its dioxide, and the electrolyte role belongs to the sulfuric acid. Plates of metal oxides have a negative charge, and plates coated dioxide (peroxide) lead - a positive charge. Plates vary so that a plate with a coating of lead dioxide is placed between the plates of lead. To prevent a short circuit between the positive and negative plates through physical contact, batteries are either being separated with special separators or wrapped in such

materials as glass fiber, and are then being put in a plastic shell. Plates are placed in a container (usually plastic) and filled with aqueous acid.

Batteries have an emergency valve through which in dangerous situations a surplus of discharged gas (so-called "sealed battery") may come out.

Gel-like electrolyte is being used in the lead-gel batteries.

### **Advantages and disadvantages.**

The advantages of lead-acid batteries include: durability, low costs, reliability, low internal resistance.

Disadvantages: large mass; the use of toxic substances; inability to discharge the battery at temperatures below  $-40^{\circ}\text{C}$  and charge at  $0^{\circ}\text{C}$ ; inability to store the battery in a discharged condition; in some cases - gas emission in improper operation; significant self-discharge, reaching 1% in 24 hours.

Rechargeable lead-acid battery with a charge of  $1\text{ A} \cdot \text{h}$  / battery providing current strength is lower than alkaline. Lead-acid batteries have higher operating voltage than the alkaline ones. They have lower specific energy characteristics and demand significantly fewer resources while cycling to exhaustion of stored capacity. These batteries are often used for work in buffered mode, in which they retain the capacity to 10-12 years.

Batteries are characterized by the following parameters:

- Pressure charged battery 2.6 - 2.8 V;
- Discharged battery Voltage 1.7 - 1.8V;
- Efficiency to 80%
- Life (number of charge-discharge cycles) 300 - 800;
- Self-discharge on day 1 - 2%

Although lead-acid battery can have the highest capacity at temperatures above  $30^{\circ}\text{C}$ , continued operation under these conditions reduces battery functionality.

### **Nickel-cadmium batteries (NiCd)**

Nickel-cadmium batteries have nickel cadmium anode and cathode. Batteries of this type are characterized by low internal resistance, and therefore may be applied for releasing fairly strong current, virtually unchanged during discharge. Output voltage also remains virtually unchanged until battery runs out of power. Then the output voltage drops sharply to almost zero.

Nickel-cadmium batteries can withstand up to 1000 cycles of charging / discharging without significant deterioration. They are relatively light and energy-intensive. A major drawback of these batteries is "memory effect." If the battery is not fully discharged and then put the charge, its capacity may be reduced. These batteries are used in various devices with medium and high power consumption, such as laptops, cameras, photographic. The main advantages of this type of battery:

- Ability to work in a wide range of operating currents of the charge / discharge and ambient temperature (allowable discharge current is 0, 2-2 CN, operating temperature range - from  $-40^{\circ}$  to  $+50^{\circ}$  C);

Where CN is a nominal battery capacity, the capacity under normal conditions of discharge (discharge at rated current, and of course at  $20^{\circ}$  C);

- High load capacity at low temperatures (NiCd-battery can be recharged at low temperatures);
- The possibility of a quick and easy charging in any mode (NiCd-batteries undemanding to the type of charger);
- A large number of charge / discharge cycles (with proper maintenance NiCd-battery can withstand over 1000 cycles);
- The possibility of recovery from reduction of capacity or long-term storage;
- Low costs, long life and wide availability in any range of consumer form factors.

#### Nickel-Metall Hydride Batterie (NiMH)

NiMH batteries have nickel hydride cathode and anode. Chemical hydrides are alloys of metals such as zinc, lithium or nickel and are capable of binding atomic hydrogen in volume that 1000 times exceeds their own. NiMH cells can produce a current of great strength and can withstand 500 cycles of charging / discharging.

NiMH batteries have no "memory effect." Through the use of hydrogen as a cathode, these batteries have a higher specific capacity (50%) compared to NiCd elements. Batteries of this type are safe for the environment. These elements are more likely to fall under self-discharge. Some of them lose 5% charge per day. During the charge NiMH batteries produce heat. When the battery is fully charged it can heat up quite significantly. Therefore, they must be charged under supervision. NiMH batteries are well suited for use at home, in video cameras, cell phones, and calculators. The main advantages of this type of battery are:

- High energy density by weight and volume (capacity 1.5-2 times more than standard NiCd-batteries of the same size);
- Wide operating temperature range from -10 to +40 ° C;
- Less susceptibility to memory effect than in NiCd-batteries;
- Resistance to prolonged overcharging small currents;
- Mechanical strength and resistance to mechanical loads;
- Long life and storage (in a discharged state);
- Less toxicity disposal.

### **Lithium-ion batteries (Li-Ion)**

Under the title "Lithium ion batteries" several sources with different chemical filling are combined:

- Lithium / Tionil-Chlorinne (Li / SOCl<sub>2</sub>);
- Lithium / sulfur dioxide (Li / SO<sub>2</sub>);
- Lithium / nickel oxide (Li / Ni<sub>2</sub>);
- Lithium / Manganerze Oxide (Li / Mn<sub>2</sub>).

The most common Li-Ion-battery is a battery with carbon anode and cathode of lithium cobalt-dioxide.

The electrolyte has a base containing of lithium salts. Lithium reactive metal, thereby batteries have a higher capacity and the highest rated voltage. Lithium-ion batteries can withstand over 1000 cycles of recharging, working in a wide range of temperatures and are environmentally friendly. Lithium-Ion cells have "memory

effect." The internal resistance in lithium batteries is higher than the NiCd because they provide a large discharge current. These batteries are intended for use in energy-intensive devices such as digital cameras, laptop computers, and cellular phones.

The benefits of using modern Li-Ion-batteries are the following:

- The highest specific capacity and discharge current density;
- Minimal self-discharge;
- Long life (10 years);
- A large number of charge / discharge cycles (over 1000 cycles);
- Ability to work in a wide temperature range;
- Ability to preserve the stored energy is high and constant readiness to work.

### **Lithium-polymer batteries (Li-Polymer)**

The advantage of lithium-polymer batteries is the absence of liquid electrolyte. The anode in these batteries is separated from the cathode polymeric barrier - composite material containing lithium salt. At the same specific density, lithium-polymer batteries can store 22% more energy than a similar lithium ion. This is achieved by filling in the corners compartment volume, which remained unused in the case of a cylindrical battery. In addition, lithium-polymer elements are environmentally friendly and easier to work with, due to the absence of an external metal casing. Batteries may be used in energy devices, portable computers, digital cameras, cell phones.

Batteries have the following characteristics:

- Lifetime;
- The rated capacity of the battery;
- The internal resistance of the battery;
- Energy density battery charged;
- Rate of return - is the number of electricity in coulombs (or ampere hours Ampere. KWh), dedicated battery at full discharge to the quantity of electricity received during charging;



- Efficiency of power - is the number of electricity that it gives to the consumer while discharging to the limit, to continue normal operation, to the amount received by it during charging;
- Oriented relative cost 1W\*h of energy obtained from different types of batteries of the same capacity.

Under a capacity that is given, it is to understand the maximum amount of electricity in coulombs (ampere W\*h), which battery gives at the selected final discharge voltage. In the conventional type of battery the nominal capacity is shown, which means the discharge capacity (at discharge under rated current at 20 ° C).

In a parallel connection of batteries, that is, when a connection between the positive and negative poles of all elements respectively, can form high-capacity battery with a voltage equal to the rated voltage of a battery and a capacity equal to the sum of the capacities of its constituent batteries. There are several conventional voltages for batteries: 2; 4; 6; 12; 24 V

Nominal capacity of the battery is called capacity that the plant manufacturer guaranteed under certain conditions of discharge. Charging capacity is the quantity of electricity that is given to the battery charge. Charging capacity is always a little bit higher due to irreversible processes occurring during charging and discharge.

The value of the discharge capacity of the battery depends on the type and design of the plates used, the number of active substances contained in them, electrode material, mode of discharge and temperature.

In batteries that are in operation continuously, a repeated sequence of electrochemical transformations occurs. One sequence of charge / discharge of the battery is called a cycle. Deep cycles mean the cycles of full charge / discharge of the battery under normal conditions.

With each cycle batteries wear out. Battery longevity estimate the number of cycles. This option is different for different types of batteries. Some batteries under normal operating conditions has not more than 10 cycles, the other have 100 and

1000 cycles. The deterioration parameters and battery failure occur mainly due to primarily grid corrosion and deterioration of positive electrode active material.

Durability of battery depends on:

- Resource embedded in an electrochemical system and the design of the battery;
- Conditions commissioning;
- Operating conditions.

When choosing batteries it is to consider the energy dependence of the ambient temperature, that the weight energy density silver-zinc batteries in a much greater degree depends on the temperature. Almost as dependent from temperature is the volumetric energy density batteries.

An important characteristic of the batteries are oriented relative cost  $1\text{W}\cdot\text{h}$  of energy obtained from different types of batteries roughly equal capacity and reduced its cost  $1\text{W}\cdot\text{h}$  of energy lead-acid batteries

As shown in the The highest energy costs derived from zinc and silver-cadmium batteries and lowest from lead-acid taken in this case as a unit.

Keywords - asymmetric current; a pulsed current with a reverse ejection; charge of batteries; charger; accumulator battery)